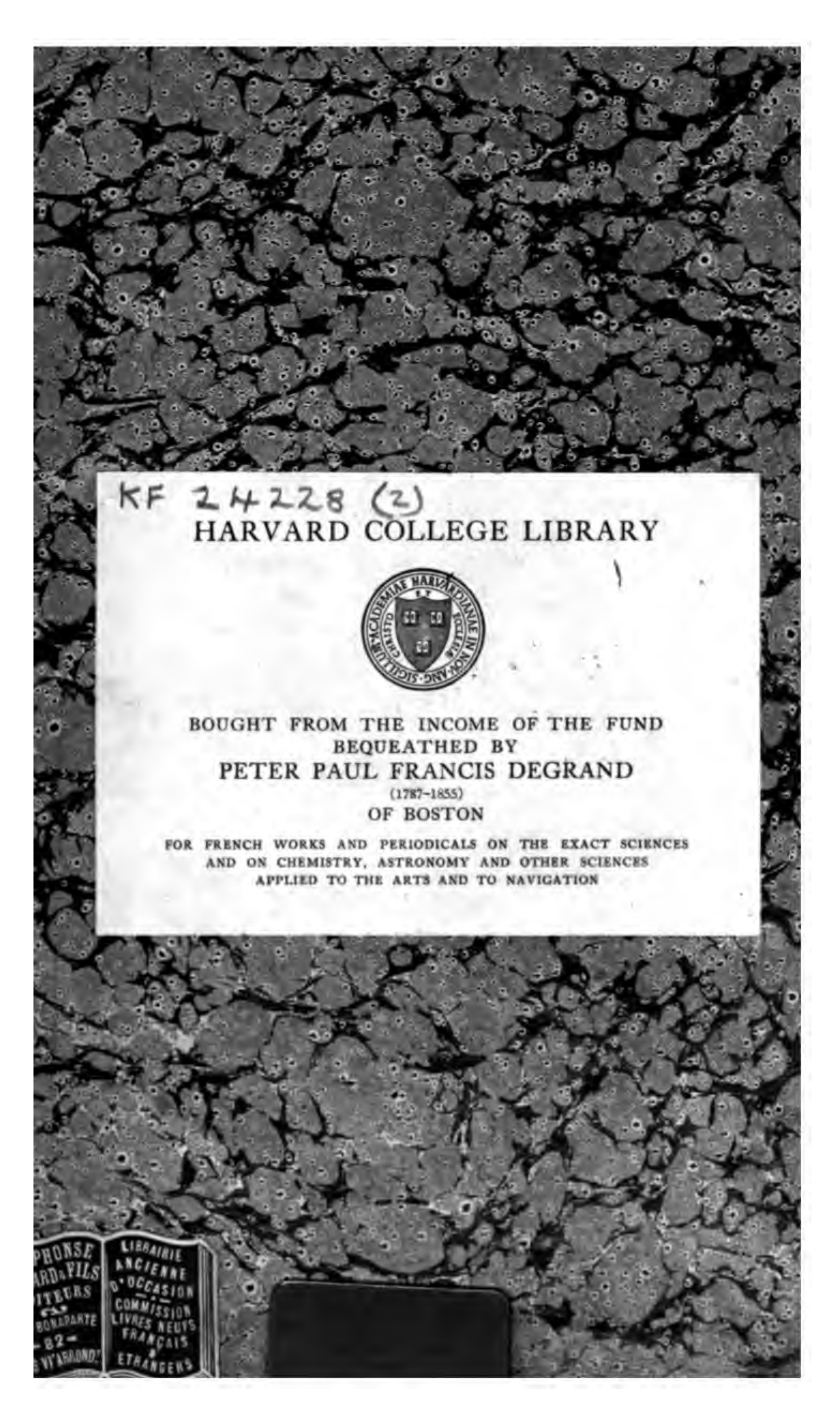
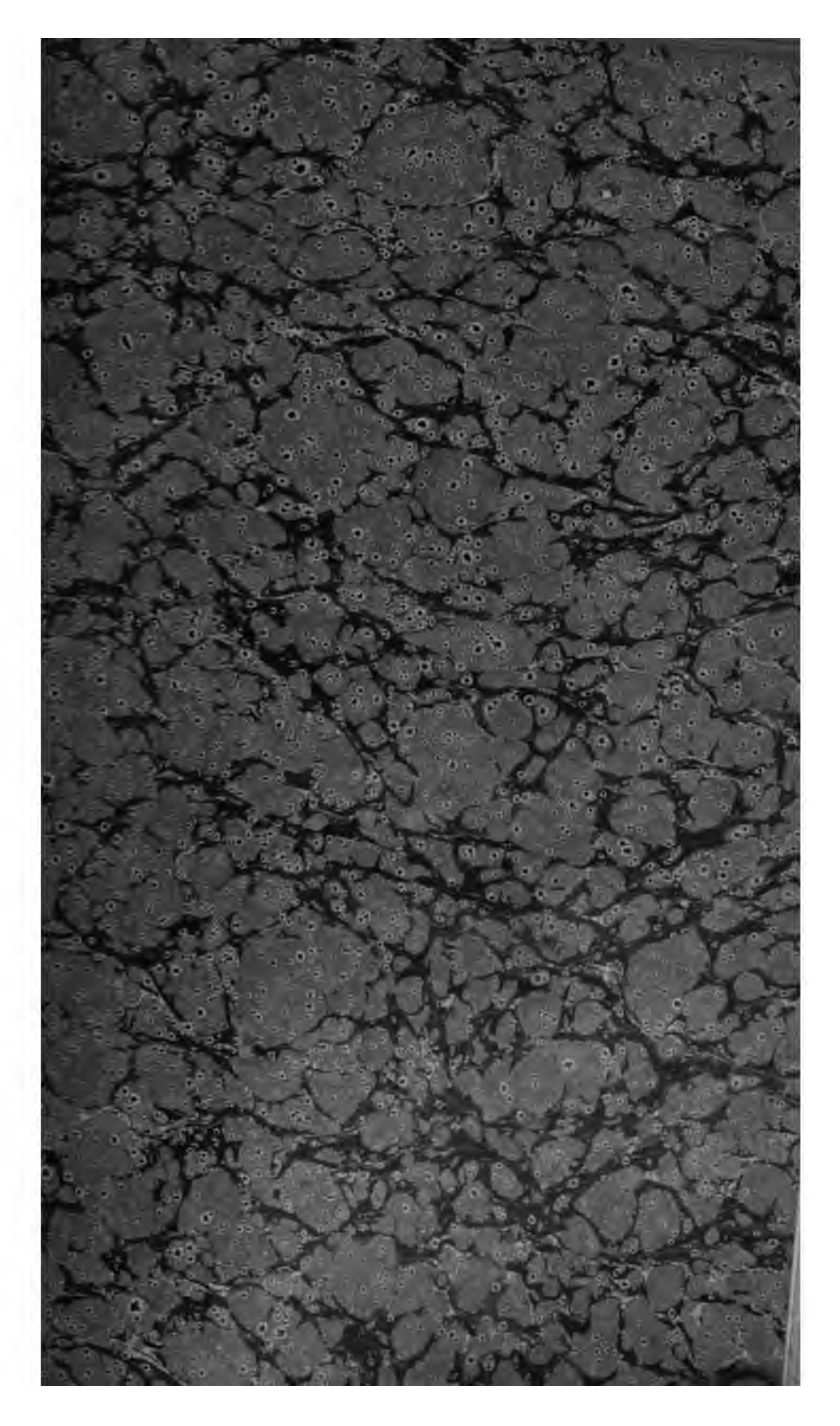


PHONSE
ARD & FILS
ITEURS
BONAPARTE
-82-
VI° ARROND.
LIBRAIRIE
ANCIENNE
D'OCCASION
COMMISSION
LIVRES NEUFS
FRANÇAIS
&
ETRANGERS



GÉOLOGIE APPLIQUÉE

GÉOLOGIE APPLIQUÉE

TRAITÉ

DU GISEMENT ET DE LA RECHERCHE

DES

MINÉRAUX UTILES

PAR

M AMÉDÉE BURAT

INGÉNIEUR,

Professeur d'exploitation des Mines à l'École centrale des Arts et Manufactures

CINQUIÈME ÉDITION

REVUE, CORRIGÉE ET AUGMENTÉE

DEUXIÈME PARTIE

GITES MÉTALLIFÈRES

ET TRAVAUX DE RECHERCHE

PARIS

GARNIER FRÈRES, ÉDITEURS

6, RUE DES SAINTS-PÈRES, 6

1870

à divers niveaux géologiques les couches de *mine en roche,* tantôt compactes, tantôt pisolithiques ou oolithiques qui sont la base des fabrications les plus considérables. Les gîtes accidentels et subordonnés sont ceux qui fournissent les minerais de fer cristallins les plus purs et les plus recherchés. Quant aux minerais de cuivre, piomb, or, argent, zinc, antimoine, étain, bismuth, cobalt, nickel, manganèse, etc., nous devons aller les exploiter dans les filons et les gîtes de formes si diverses qui sont accidentellement subordonnés aux grandes masses minérales.

Nous nous proposons d'étudier les détails de la composition, de la forme et du gisement des gîtes métallifères, étude indispensable pour la recherche et l'exploitation.

Les minerais doivent d'abord être définis, car cette dénomination est tout à fait conventionnelle et comprend des masses minérales dont les conditions sont très-variables.

C'est en effet le *titre* ou teneur en métal qui constitue un minerai : or, les métaux ayant des valeurs très-diverses, le titre exigé pour qu'une roche métallifère puisse être appelée minerai variera aussi dans des limites très-étendues.

Prenons pour premier exemple les *minerais de fer.*

Beaucoup de roches contiennent de 10 à 15 pour 100 de fer. Ce ne sont pourtant pas des minerais, car le prix du fer est tel qu'un titre double, soit de 25 pour cent, est nécessaire pour que le minerai puisse être utilement traité.

Les roches ferrifères commenceront donc au-dessus de 20 pour 100 à prendre le nom de minerai. Mais les fers carbonatés peuvent contenir jusqu'à 45 pour 100, lorsqu'ils sont purs; les fers hydroxydés hématites peuvent atteindre 60 pour 100 ; les peroxydes anhydres 70 pour 100 ; les fers oxydulés près de 80.

Les minerais pris en masse étant toujours mélangés d'une certaine proportion de gangues, la richesse pourra présenter tous les degrés de variations, depuis 20 pour 100 jusqu'à 45, 60, 70 pour 100; elle pourra même descendre au-dessous de 20 pour 100, lorsque par des opérations peu coûteuses, telles que triages ou lavages, on pourra facilement élever le titre.

La plupart des minerais de fer s'exploitent comme *mine en roche* et ne subissent qu'un triage qui écarte les gangues et les parties

trop pauvres. Mais les minerais d'alluvion et surtout les minerais en grains sont disséminés dans des roches marneuses ou sablonneuses dont on les sépare au moyen de débourbages et de lavages. Ainsi les marnes qui contiennent les mines en grains de Comté, du Berry, du Châtillonnais, etc., ne contiennent guère que 10 à 20 pour 100 d'hydroxydes qui, une fois isolés, contiennent environ 40 pour 100 de fer. Le minerai proprement dit, c'est-à-dire la roche ferrifère exploitée et soumise au lavage, ne contient donc au plus que 5 à 10 pour 100 de fer, mais les procédés d'enrichissement sont si peu coûteux que ce titre suffit.

Il n'en est pas de même des roches compactes où le fer est engagé. Ainsi il est des basaltes qui contiennent 10 à 15 pour 100 de fer, mais qui cependant ne peuvent être considérés comme des minerais, aucun procédé de préparation mécanique ne pouvant leur être appliqué pour en élever le titre.

Les mêmes considérations s'appliquent aux minerais des autres métaux, avec cette différence que les procédés d'enrichissement et de lavage étant d'autant plus efficaces que le métal a plus de valeur, il existe des différences bien plus grandes entre le titre du minerai pris en masse dans les chantiers d'exploitation et celui des minerais enrichis par les préparations mécaniques qui sont livrés aux usines.

Les *minerais de zinc* sont la calamine et la blende. Ils ont une certaine analogie avec les minerais de fer en roche ; la préparation mécanique en est difficile et le traitement métallurgique est difficile, de telle sorte que la richesse des minerais livrés aux usines doit être supérieure à 20 pour 100.

Un titre élevé est facilement obtenu avec la blende cristalline qui se détache facilement des gangues, ou que l'on peut facilement enrichir par la préparation mécanique ; il n'en est pas de même des calamines dont le lavage est assez difficile.

Les gîtes calaminaires doivent donc être riches pour être exploités avec avantage. Ainsi les minerais directement extraits du gîte de Moresnet, longtemps exploité sous le nom de Vieille-Montagne, obtenaient facilement par un simple triage le titre de 40 pour 100. Plus tard, l'épuisement du gîte conduisit à exploiter des minerais pauvres autrefois délaissés, et l'on procéda même au lavage de tous

les débris et écarts des anciennes exploitations de manière à obtenir des minerais à 20 pour 100.

Des minerais de zinc à 20 pour 100 peuvent être exploités lorsque les usines métallurgiques sont voisines ; mais lorsque les frais de transport sont élevés comme, par exemple, pour les minerais exportés d'Espagne, le titre minimum est 30 pour 100.

Les *minerais de plomb* se présentent dans des conditions toutes différentes. La galène, qui est le minerai dominant, a une densité telle que la préparation en est très-facile, de telle sorte qu'on peut exploiter des minerais bien au-dessous du titre exigé par les usines.

Ainsi les galènes livrées par les mines du Hartz aux fonderies sont au titre moyen de 50 pour 100. Dans les chantiers d'abattage, on ne peut évaluer leur proportion à plus de 5 pour 100.

Mais les galènes contiennent une petite proportion d'argent, 0,0005 environ, qui ajoute une valeur notable à celle qui résulte de leur titre en plomb.

Les galènes argentifères, enrichies par triage ou lavage, aux titres de 50 à 60 pour 100 de plomb, et de 0,0005 à 0,001 d'argent, peuvent supporter des frais de transport considérables.

Les *minerais de cuivre* présentent un intérêt tout spécial, car de tous les métaux usuels le cuivre est celui dont le prix est le plus élevé et le débouché le plus facile.

Les mines du Cornwall livrent les pyrites cuivreuses aux fonderies de Swansea, au titre de 8 pour 100, mais la masse exploitée atteint à peine 1 pour 100.

Ainsi une roche qui contient 1 à 2 pour 100 de cuivre est un minerai de cuivre, tandis qu'une pareille proportion de fer n'a aucune importance. Le kupferschiefer du Mansfeld n'en contient pas davantage, non plus que les amphiboles et yénites cuprifères de la Toscane.

Mais lorsqu'un minerai, à cette teneur, se trouve loin du combustible nécessaire pour la fusion, loin d'un port qui permette son expédition à Swansea ou tout autre centre métallurgique, ce n'est plus un minerai. Ainsi les exploitations de la Bolivie et du Chili ne peuvent expédier utilement que des minerais de cuivre au-

dessus de 10 pour 100. Les minerais de titre inférieur, lorsqu'ils ne pouvaient plus être enrichis par le triage, restaient donc sans valeur sur les haldes de ces mines, jusqu'à ce que les perfectionnements des voies de transport aient permis de créer des usines dans le pays et de rendre à ces déblais le nom de minerais.

La grande valeur du cuivre permet d'exploiter des masses très-pauvres. Dans un filon, une veine de cuivre pyriteux ou sulfuré, ayant seulement quelques centimètres d'épaisseur, pourra rémunérer tous les travaux de percement et donner des bénéfices à l'abattage en grand; dès lors est-il surprenant de voir les mines de cuivre du lac Supérieur jouer le rôle le plus actif dans le défrichement et la colonisation de contrées autrefois désertes.

Tous les minerais ne fournissent pas un cuivre d'égale qualité. Les pyrites sont souvent, en Cornwall, mélangées de fer arsenical, de galène et de blende qui altèrent la qualité du produit. On a donc établi une distinction commerciale entre les cuivres purs et doux de Russie et ceux du pays de Galles, dans lesquels cette qualité de douceur n'est ordinairement obtenue que par un mélange de plomb.

L'*étain* n'est exploité qu'à l'état d'oxyde ; son traitement est donc facile, et le minerai peut être abattu à des titres inférieurs à ceux des métaux précédents. Cet oxyde a deux manières d'être bien distinctes : 1° en roches, c'est-à-dire disséminé dans des gangues dures qui constituent des filons ou des stocwerks ; 2° en grains disséminés dans des alluvions. Dans les roches dures des filons de Cornwall et de Saxe, on peut poursuivre des minerais à la teneur de 0,005 d'étain, car, outre que ce minerai a plus de valeur intrinsèque que celui du cuivre, parce qu'il est d'une réduction peu coûteuse, la préparation mécanique en est facile, à cause de la grande pesanteur spécifique de l'oxyde d'étain ; on peut aisément concentrer les schlicks à 50 et 60 pour 100.

En Cornwall le quintal d'étain obtenu consomme seulement 175 kilogrammes de houille, et le total des frais de traitement n'est que de 12 à 14 francs. Il reste donc encore au minerai une valeur de 130 francs à la teneur de 60 pour 100.

Il y a une grande distinction à faire entre les mines d'étain en roches et les mines d'alluvion. Dans les premières, la pureté

du minerai est toujours altérée par le mélange de pyrites et de fer arsenical; tandis que, dans les autres, le minerai parfaitement isolé donne un produit de qualité supérieure. Cette distinction établit une différence de prix entre les étains de Banca et les étains anglais. On n'exploite, en effet, sur les côtes de Banca et de Malacca, que les minerais d'alluvion.

Le *mercure* est encore plus restreint dans ses provenances que le cuivre ou l'étain; il se trouve à l'état de cinabre et les gîtes de ce minerai sont très-rares.

Les mines d'Almaden fournissaient presque exclusivement le mercure au monde entier avant la découverte des mines similaires de la Californie; le minerai sortant de ces mines pour être traité ne contient pas moins de 0,10 de mercure.

On exploite à Idria en Carniole, et près de Seravezza en Italie, des schistes qui ne donnent après le triage que 0,05 à 0,01 de mercure; le traitement est si simple et le produit si recherché, que ce bas titre est encore suffisant pour compenser les frais d'exploitation dans des roches qui sont rarement résistantes.

Le cinabre imprègne quelquefois les roches dans lesquelles on le trouve d'une manière si intime, que la préparation mécanique des minerais est très-difficile. A Idria on perd 35 pour 100 de cinabre par la préparation mécanique. Il faut donc, autant que possible, ne chercher à enrichir le minerai que par le triage.

Les *minerais d'argent* sont le plus souvent des minerais complexes traités pour plusieurs métaux : tels sont du moins ceux que fournissent les mines de l'Europe. Pour apprécier d'une manière convenable le titre nécessaire des minerais d'argent, il faut étudier les conditions des exploitations américaines. L'argent s'y trouve dans des filons puissants, à l'état natif et à l'état de sulfure, pur ou mélangé d'autres sulfures, souvent à l'état de chlorure. Ces minerais ont pour gangues la chaux carbonatée, le quartz et la pyrite de fer. Dans les parties supérieures des gîtes, les pyrites, ordinairement décomposées, ont donné lieu à des hydroxydes qui contiennent les minerais argentifères dont ils masquent complétement la richesse. Tels sont les minerais dits pacos et colorados dans le Pérou, le Chili et le Mexique.

Les mines de l'Amérique ne sont productives qu'en raison de la grande abondance des minerais. Les masses d'argent natif, sulfuré, rouge, chloruré, etc., que l'on a quelquefois citées, ne sont que des exceptions, et la richesse ordinaire des minerais est comprise entre 0,002 et 0,005. Cet argent contient presque toujours un peu d'or.

Les célèbres gîtes de la montagne de Potosi en Bolivie ne donnent plus que du minerai à 0,0004, et c'est à peine s'ils fournissent encore des extractions de quelque importance.

On a exploité à Bockstein dans le Salzbourg, et à Zell en Tyrol, des mines d'argent aurifère qui ne rendaient que 0,000015 d'argent et 0,00001 d'or; c'est-à-dire qu'un mètre cube de minerai produisait une valeur d'environ 37 francs pour l'un et l'autre métal. Il est probable qu'une pareille exploitation ne pourrait se soutenir aujourd'hui dans toute autre localité.

L'*or* ne se trouve qu'à l'état natif ; la valeur que peuvent avoir les minerais dépend donc uniquement de la proportion et de la nature des gangues. On peut répartir en quatre classes les divers minerais exploités au Brésil, en Australie et en Californie.

1° L'or disséminé dans les gangues généralement quartzeuses, dont il doit être extrait par abattage, bocardage et lavage; 2° l'or disséminé dans des pyrites de fer où il est absolument imperceptible et d'où il ne peut être extrait que par l'amalgamation; 3° l'or disséminé dans des hydroxydes de fer provenant de la décomposition de ces mêmes pyrites ; 4° enfin l'or disséminé en paillettes et pépites, dans les alluvions.

Ce dernier gisement est celui qui fournit la plus grande partie de l'or. On peut considérer que la limite inférieure est de deux grammes d'or par tonne de sable lavé, c'est-à-dire à $\frac{1}{500,000}$, la moyenne des sables lavés en Russie contenant $\frac{1}{300,000}$. Quant aux gisements directs, situés dans les roches quartzeuses et les pyrites ou oxydes de fer qui ont fourni l'or aux alluvions, les conditions en sont plus difficiles à apprécier.

Dans la première classe, celle où les roches quartzeuses doivent être abattues pour l'extraction directe de l'or, se placent les mines de Beresow en Sibérie, de Taquary et Gongo-Socco au

Brésil, de la Californie et de l'Australie. Ces mines n'ont souvent qu'une existence précaire par suite de l'incertitude de leurs produits ; à une journée qui enrichit subitement l'exploitation succèdent souvent des mois entiers de travaux improductifs. Si l'on calcule ce que doit rendre en schlick d'or un mètre cube de quartz abattu, bocardé et lavé, pour constituer une opération en bénéfice, on trouve que la proportion de 0,00001 est un minimum. On a cité beaucoup d'exemples de riches filons où la proportion s'était élevée à 0,0001.

On voit, en résumé, que la dénomination de minerai peut être appliquée à des masses métallifères contenant, suivant les métaux, des proportions variant de 0,25 à 0,00001.

Fer	0,25
Zinc	0,20
Plomb	0,02
Cuivre	0,01
Mercure	0,01
Étain.	0,005
Argent	0,0005
Or	0,00001

Les autres métaux moins usuels, tels que l'antimoine, le nickel, le cobalt, le bismuth, etc., ont des titres également très-variables.

Les gangues varient de composition et de caractères, suivant les métaux qu'elles accompagnent. Tantôt elles sont tout à fait distinctes et faciles à séparer des parties métallifères ; tantôt leur mélange est si intime, qu'on est obligé de fondre le tout ensemble. Dans ce dernier cas, on considère les gangues dont on ne peut se débarrasser par un simple cassage et triage comme partie intégrante des minerais.

Il ne faut pas confondre avec les gangues les roches métallifères dont la dénomination beaucoup plus étendue s'applique ordinairement au terrain qui contient à la fois les gangues et les minerais. C'est ainsi que certains porphyres ont été appelés porphyres métallifères, parce qu'ils accompagnaient souvent les gîtes de minerais, mais sans qu'eux-mêmes en contiennent jamais.

Les titres précités des minerais sont donc abaissés dans la

pratique, par les facilités d'enrichissement par cassage, triage ou préparation mécanique, que présentent certains mélanges de gangues et de minerais. C'est ainsi que, pour le fer, une marne dans laquelle les hydroxydes pisolithiques ou oolithiques se trouvent disséminés peut être exploitée au titre réel de 5 à 10 pour 100; que les minerais de cuivre durs et tenaces sont exploités à 0,001, tandis que des minerais tendres et faciles à enrichir peuvent n'avoir en masse que 0,0005. C'est ainsi que l'or engagé dans des pyrites disséminées dans des roches quartzeuses, très-tenaces, est à peine rémunérateur au titre de 0,00005; tandis que, dans des quartz fendillés bien cassants contenant des pépites et grains faciles à isoler, on exploite avec avantage des masses au titre de 0,00001.

Les gangues ont, en outre, une certaine influence sur les minerais, par leur nature minéralogique. Ainsi, pour les minerais qui doivent être enrichis par le lavage, une gangue légère et fragile donnera de la valeur, comparativement à une gangue lourde, dure et tenace.

Pour les minerais qui doivent être directement fondus, une gangue réfractaire, qui exigera de fortes additions au lit de fusion, diminuera la valeur du minerai ; une gangue facile à fondre et à liquater, comme l'amphibole, sera avantageuse ; enfin, une gangue de spathfluor, qui sera elle-même un fondant pour les autres substances, augmentera d'une manière notable la valeur du minerai et permettra par conséquent d'exploiter un titre plus bas.

Toutes ces considérations seront expliquées avec plus de détail à la fin de ce travail, lorsque nous aurons à parler de la préparation des minerais et des titres que l'on peut obtenir par les procédés d'enrichissement.

FORMES DES GITES MÉTALLIFÈRES

Les minerais ont toujours été l'objet d'études spéciales. Exploiter un gîte métallifère est facile, mais rechercher ces gîtes, en apprécier la valeur et l'allure souterraine de manière à déterminer la disposition des travaux, c'est sans contredit l'application la plus difficile de la géologie, la mission la plus importante de l'ingénieur

des mines. Cette application est en effet créatrice. Une valeur était ignorée dans les profondeurs du sol, l'ingénieur l'a découverte, en a prévu et signalé les formes et l'allure souterraine; il a tracé les travaux qui doivent permettre d'y pénétrer, désormais cette valeur est acquise (1).

Après l'examen du minerai et de ses gangues, après l'appréciation du titre, vient nécessairement l'étude des formes du gîte, de ses dimensions, de ses allures souterraines, de ses relations avec les terrains encaissants.

Les différences les plus prononcées distinguent les gîtes métallifères des gîtes généraux ou roches. Les gîtes généraux sont toujours en couches ou masses qui doivent être regardées comme contemporaines des terrains dont ils font partie; les gîtes métallifères affectent, au contraire, des formes spéciales, indépendantes de la stratification, et qui leur assignent une origine postérieure aux terrains dans lesquels ils se trouvent enclavés.

Sous le rapport minéralogique, beaucoup de substances nouvelles entrent dans la composition des gîtes métallifères, et celles qui sont communes aux deux classes présentent des caractères spéciaux qui peuvent les faire distinguer dans les deux positions.

Les gîtes métallifères peuvent être considérés comme se rapportant à deux classes distinctes :

Les *gîtes réguliers* assujettis à certaines conditions géométriques de formes et d'allures ;

Les *gîtes irréguliers* dont les formes sont indéfinissables et qui sont assujettis seulement à certaines conditions de gisement.

Les gîtes réguliers comprennent les FILONS ;

Les gîtes irréguliers comprennent les AMAS, les VEINES et STOCWERKS.

(1) Ce caractère créateur de l'art des mines a été signalé depuis longtemps, et dès le commencement de notre ère, Cassiodore le définissait en ces termes :

« Metallarii cautior ars, vita felicior est. Intrant egentes, exeunt opulenti : di-
« vitias, sine furto, rapiunt ; optatis thesauris sine invidiâ perfruuntur; et soli
« sunt hominum qui absque nullâ nundinatione pretia videantur acquirere. Au-
« rum si quidem et argentum per bella quærere nefas est ; per maria, periculum;
« per falsitates opprobrium ; suâ vero naturâ, justitia. Honesta sunt lucra per
« quæ nemo læditur ; et bene acquiritur quod à nullis adhuc dominis abro-
« gatur. »

Pour se rendre compte des formes de ces gîtes, le seul moyen est de formuler nettement leur origine qui explique à la fois les conditions de leurs allures et de leur gisement.

Les FILONS sont des masses minérales aplaties, comprises sous deux plans à peu près parallèles, qui coupent la stratification des terrains dans lesquels ils se trouvent. On peut se les représenter comme des *cassures* ou *fentes* plus ou moins considérables faites dans l'écorce du globe, et postérieurement remplies par diverses substances minérales parmi lesquelles se trouvent souvent les minerais. La masse d'un filon est donc une plaque à parois plus ou moins ondulées, de la dimension de la fente préexistante, et dont la position n'a aucun rapport avec la stratification du sol, de même que sa composition est généralement tout à fait distincte.

La dénomination d'AMAS n'entraîne aucune forme déterminée, non plus que celles de VEINES ou STOCWERKS, qui s'appliquent aux amas dans lesquels le minerai est plutôt disséminé dans les fissures des roches que rassemblé en masses dont on puisse figurer les contours.

Ces définitions sont d'autant plus vagues, qu'il existe des transitions fréquentes entre les gîtes en filons et ceux en amas ; et l'on ne saurait se rendre compte des formes, de leurs variations et de leurs accidents, si l'on n'a d'abord été fixé sur le mode de formation de ces gîtes. Nous avons dit que les filons devaient être considérés comme des fentes produites dans la croûte solide du globe et remplies postérieurement par des gangues provenant à la fois des influences extérieures et intérieures, c'est-à-dire par des matières venues de haut en bas et de bas en haut ; ces gangues se sont pénétrées de combinaisons métallifères, qui toutes paraissent devoir être attribuées à des émanations souterraines.

L'origine des amas et des stocwerks doit être considérée comme se confondant avec celle des filons sous le rapport du mode de remplissage ; mais, sous le rapport des phénomènes qui ont déterminé la forme des gîtes, il existe des distinctions essentielles. Les amas paraissent liés d'une manière bien plus immédiate aux grandes perturbations géogéniques qui, à des intervalles différents, ont accidenté la surface du globe. Comme gisement, leur connexion avec celui des roches ignées est bien plus intime ; souvent même,

la sortie directe des amas métallifères paraît avoir été, comme celles des roches ignées elles-mêmes, le résultat d'une action expansive agissant énergiquement de bas en haut, soulevant et brisant les dépôts sédimentaires superposés. Ce sont des gîtes que l'on peut appeler métamorphiques.

Nous énonçons ainsi à l'avance le mode de formation des filons et des amas métallifères, afin de faciliter l'appréciation des phénomènes multipliés qu'ils présentent. Le principe de cette origine n'est plus, en effet, un problème à résoudre, et ce premier énoncé du théorème aura l'avantage de nous dispenser de faire continuellement ressortir les conclusions qui résultent des moindres détails descriptifs. Nous en trouverons successivement les preuves : dans la composition et la structure des gîtes métallifères, dans leurs formes ou allures, enfin dans les relations qui existent soit entre eux, soit avec les terrains encaissants.

CHAPITRE II

FILONS MÉTALLIFERES

Les filons définis comme masses minérales aplaties, comprises sous deux plans à peu près parallèles et coupant la stratification des terrains sous des angles quelconques, soit comme des fentes ou cassures remplies par des substances spéciales, constituent les trois quarts des gîtes métallifères.

On trouve des filons dans toutes les contrées du globe, avec des caractères tellement analogues ou identiques, qu'on est amené à les considérer comme résultant de phénomènes généraux qui ont affecté certaines parties de l'écorce terrestre.

Indiquons de suite quelques termes techniques employés dans les mines pour désigner les diverses parties des filons.

On appelle *toit* (hangende) le plan droit ou ondulé qui forme la limite supérieure d'un gîte ; le plan inférieur est le *mur* (liegende). Souvent le toit et le mur sont séparés du gîte par des roches détachées et d'une autre nature que la masse : ces parties sont les *salbandes* (saalbander).

On appelle *épontes* les portions de roches encaissantes qui forment le toit ou le mur. Les points où le gîte perce à la surface du sol sont les *affleurements*.

La ligne d'intersection d'un plan horizontal avec le plan d'un

filon en détermine la *direction* ; l'*inclinaison* est l'angle que forme le plan du filon avec l'horizon.

Les faits relatifs à la constitution des filons métallifères sont aujourd'hui si nombreux, qu'il est difficile d'en présenter un résumé succinct. Les divers caractères qu'on peut y étudier sont, en effet, solidaires à tel point, qu'on ne peut guère les isoler complétement. Tâchons cependant d'examiner méthodiquement ces différents points, qui sont :

1° La *composition* et la *structure* des filons métallifères ;

2° Leur *forme* et leur *allure* ;

3° Les *relations* des filons entre eux et leur *groupement* dans les divers districts métallifères ;

4° Enfin, les conditions principales de la *distribution intérieure des minerais.*

Nous examinerons successivement les faits relatifs à ces quatre divisions, en nous appuyant sur des exemples tirés des contrées les plus classiques et les mieux étudiées.

Composition et structure des filons métallifères. Les filons constituent la plus grande partie des gîtes métallifères autres que ceux du fer. C'est en vertu de cette importance, et parce que leurs formes sont assujetties à des lois de continuité et de régularité plus faciles à saisir, qu'ils ont été de tout temps l'objet d'études particulières.

Werner, placé dans une des contrées les plus riches en filons plus variés et plus réguliers que partout ailleurs, a fourni, par ses travaux, la base de la géognosie des minerais. Les conclusions théoriques qu'il a tirées de ses observations ont, il est vrai, subi des modifications complètes, mais ses observations ont subsisté, elles ont ouvert la voie à une théorie plus rationnelle aussitôt que les progrès de la géologie ont pu y conduire.

L'étude des caractères des filons a une très-grande importance; il suffira, pour la faire apprécier, de se reporter à ce que furent les travaux des premiers exploitants lorsqu'ils ignoraient les conditions de continuité, de direction et d'inclinaison des filons. On ne croyait alors à l'existence du minerai que lorsqu'on le voyait ; de là ces puits multipliés, souvent placés sur des indices sans valeur; de là

ces travaux sinueux et incertains que l'on cherchait à maintenir dans le gîte, malgré ses accidents et ses irrégularités. Si, au contraire, nous parvenons, en étudiant les filons, à démontrer l'origine que nous leur avons assignée et les conditions qui en résultent, les travaux changeront de forme, et l'on pourra calculer à l'avance à quelle profondeur, à quelle distance on rencontrera le plan d'un filon par un puits ou par une galerie pratiqués dans le terrain qui le renferme.

C'est en étudiant les caractères de composition, de structure et de forme des gîtes métallifères, leurs relations entre eux et avec le sol encaissant, qu'on pourra fixer ses idées et arriver à définir leur allure de manière à obtenir une conviction qui peut seule donner naissance aux grands travaux.

Le caractère le plus saillant d'un filon, celui qui le fait distinguer dans un terrain quelconque, c'est sa *composition.*

En effet, les minéraux qui entrent dans la composition des filons métallifères n'ont, en général, aucune relation avec les roches encaissantes, sauf les cas où ils contiennent des débris de ces roches qui paraissent provenir d'écroulement des épontes pendant le remplissage du filon.

La masse des filons est, dans la plupart des cas, formée par les gangues, qui sont :

1° La *silice,* soit sous forme de quartz plus ou moins cristallin, ordinairement translucide, et quelquefois en partie hyalin; soit sous forme de jaspes et d'agates diversement nuancés, contenant des poches ou druses souvent tapissées de cristaux;

2° La *chaux carbonatée*, toujours cristalline ou spathique, qu'elle soit pure ou mélangée, et passant souvent à la dolomie cristalline, au spath calcaire ferrugineux *(braun-spath),* au fer spathique, au spath rose manganésifère ;

3° Le *spath fluor*, soit pur et cristallin avec ses nuances multipliées, blanches, vertes, jaunes, roses, rouges, bleues, violacées, et ses belles cristallisations cubiques, soit mélangé avec le quartz ou le spath calcaire;

4° La *baryte sulfatée* blanche, laminaire ou cristallisée, avec ses formes de prismes, de tables biselées, de crêtes striées ;

5° L'*argile* impure, quelquefois schisteuse, *letten* des Allemands,

à laquelle il est difficile d'assigner une origine autre que la décomposition.

A ces gangues, il faut ajouter les oxydes de fer, qui jouent quelquefois le rôle de gangues relativement aux autres métaux, et les roches du toit et du mur en fragments empâtés qui donnent souvent à l'ensemble de la masse un aspect bréchiforme.

Ces diverses gangues remplissent les filons métallifères, concurremment avec les minerais qui s'y trouvent disséminés soit en veines ou petits filons isolés, soit en veinules, paillettes, grains ou rognons cristallins et cristaux disséminés. Il est rare qu'un filon rempli par les gangues cristallines ne soit pas métallifère, du moins en partie.

Les filons *stériles* ne sont ordinairement remplis que de poudingues et de brèches composées de roches analogues aux roches encaissantes, ou de terres argileuses.

Cependant il faut distinguer, dans le cas des filons d'argile, ceux qui sont appelés filons *terreux* ou *pourris*, et qui sont quelquefois très-riches en minerais ; ils se distinguent des filons stériles en ce que la matière argileuse qui les remplit est le résultat de la décomposition des roches gangues et des minerais qui remplissaient les filons. Aussi arrive-t-il fréquemment que ces filons ne sont terreux que dans certaines parties, et qu'en les suivant sur une assez grande longueur, dans le sens de la direction et surtout de l'inclinaison, on arrive à trouver des parties moins décomposées ou même tout à fait saines et cristallines.

Les matières qui remplissent les filons, gangues et minerais, sont à l'état cristallin ; les roches provenant de l'écroulement des parois, ou tombées de l'extérieur, font seules exception à cette règle qui constitue un caractère spécial.

C'est l'exploitation de ces gîtes qui fournit les cristaux isolés ou groupés qui ont servi à l'étude de la minéralogie. Les belles cristallisations de quartz, spath fluor, baryte sulfatée, spath calcaire ou dolomitique, jointes aux groupes cristallisés de galène, blende, antimoine sulfuré, cuivre gris, pyrites, cuivre carbonaté, etc., qu'on voit dans les collections minéralogiques, donnent cependant une fausse idée de cet état cristallin des filons. Tous ces morceaux

de choix appartiennent aux géodes ou cavités dans lesquelles la cristallisation a pu se développer d'une manière complète. Dans les minéraux qui remplissent la masse du filon, l'état cristallin n'est indiqué que par une texture fibreuse ou clivable ; les cristaux déterminables sont les cas exceptionnels.

Cette texture cristalline, jointe à la nature particulière des gangues, suffit pour signaler l'existence d'un gîte, et l'existence de ce gîte sera d'autant plus facile à constater que les roches du terrain encaissant seront plus lithoïdes. Pour reconnaître ensuite si le gîte est un filon ou un amas, il faut en consulter les caractères de forme et de structure.

La *structure* des filons est intimement liée à leur forme, et assujettie à des lois aussi intéressantes pour leur théorie que pour leur exploitation. Lorsque la composition n'éprouve pas de perturbations par le mélange des roches du toit et du mur, et que les gangues sont de plusieurs espèces, ces gangues ne sont pas mélangées confusément ; elles affectent une disposition parallèle aux salbandes et symétrique relativement au toit et au mur ; c'est-à-dire que si, à partir du toit, l'on découvre une bande de spath calcaire, puis une de spath fluor, puis une de quartz, puis une autre de sulfate de baryte avec galène ; on trouvera à partir du mur le spath calcaire, le spath fluor, le quartz et le sulfate de baryte galénifère, disposés dans un ordre identique et même avec des épaisseurs à peu près proportionnelles. Cette structure est la *structure rubanée.*

Un filon sera donc composé de plaques successives, et disposées symétriquement à partir du toit et du mur ; et, comme les ondulations du toit et du mur ne se correspondent pas dans la plupart des cas, les deux dernières épaisseurs de gangues ne pouvant se réunir sans qu'il y ait altération de cette loi de symétrie, il arrive souvent qu'une nouvelle espèce minérale, soit stérile, soit métallifère, remplit les vides intermédiaires. D'autres fois il reste dans l'axe des espaces vides, et c'est dans ces espaces que se rencontrent les *druses,* les *fours* ou *poches* à cristaux, qui sont encore un caractère distinctif de la structure des filons.

La structure symétrique se manifeste fréquemment par l'existence des salbandes interposées entre le toit et le mur. Ces salbandes, ordinairement argileuses, isolent le filon et facilitent beau-

coup son exploitation, les filons ainsi détachés étant d'un abatage beaucoup plus facile que les filons qui adhèrent au toit et au mur. Du reste, la disposition de la masse du filon par strates doubles et symétriques n'èst pas générale et absolue : le mélange de roches provenant du toit et du mur et de galets tombés de la surface a été un obstacle à ce qu'elle pût se développer, et nous avons dit que ce mélange était fréquent. D'autre part, il arrive aussi que les filons sont de composition trop simple pour qu'il y ait des distinctions à faire et pour que la symétrie soit visible ; mais, toutes les fois que le remplissage du filon a été tranquille et sans mélange hétérogène, toutes les fois qu'il y a variations dans les gangues, la loi de symétrie reparaît avec une constance et souvent avec une perfection remarquables.

Cette loi est applicable non-seulement aux variations de composition des gangues, mais à leurs variations de couleur et de structure. Elle est applicable à la présence de telle substance métallifère disséminée dans une même gangue ; en sorte que la coupe d'un filon peut présenter, à partir du toit et du mur, le quartz jaspe coloré, le quartz blanc cristallin, le quartz galénifère, etc., en tout sept ou huit épaisseurs, symétriques et semblables deux à deux. On a signalé des filons où il y avait ainsi sept variations de composition, de structure ou de couleur, à partir d'une salbande jusqu'au centre. M. Daubuisson citait un des filons de Freiberg composé de zones successives de baryte sulfatée et de spath fluor, disposées avec une symétrie tellement exacte de part et d'autre, qu'on n'aurait pu mieux faire, disait-il, avec le compas.

Ainsi cette loi de structure symétrique peut être considérée, non pas comme une condition absolue dans les filons, mais comme une conséquence habituelle de leur mode de formation, cette structure s'étant produite toutes les fois qu'aucune perturbation n'est venue la troubler.

Les exemples représentés par la planche II expriment très-bien les deux cas de la structure symétrique des filons.

Dans le filon Neuhoffnunger-Flachen (fig. 2), cette structure est indiquée par des salbandes régulières et des lignes qui les suivent même dans les ramifications.

Dans le filon Peter (fig. 1), elle est troublée par des roches du

toit et du mur et par des enchevêtrements, mais elle se reconnaît encore en prenant pour axes les lignes noires qui représentent les vides ou druses cristallines du centre.

La structure rubanée symétrique des filons est la conséquence de la nature cristalline des gangues et des minerais qui les remplissent; non-seulement elle est troublée toutes les fois qu'il y a remplissage par des matériaux tombés des parois ou de la surface, mais elle n'existe jamais pour les filons remplis mécaniquement par des argiles, grès, brèches ou conglomérats.

Les minéraux cristallins échappent, en effet, aux lois qui régissent la sédimentation. Si l'on étudie les dispositions que prennent des cristaux quelconques lorsque l'on fait cristalliser des substances, soit par voie humide, soit par voie sèche, on reconnaît que ces cristaux se fixent sur les parois verticales ou inclinées des cristallisoirs ou des cheminées de sublimation et s'accroissent suivant des plans parallèles à ces parois. Il en est de même pour les filons, et, soit que les matières cristallines qui les remplissent aient été produites par sublimation ou par précipitation, il est naturel de les trouver disposés en zones successives à partir du toit et du mur.

Il est d'ailleurs évident qu'il ne faut pas donner à ces lois de structure une extension absolue. Les diverses parties d'un même filon ont pu être soumises à des influences différentes qui en ont fait varier la composition. Les ondulations des parois, la différence de leur position relativement aux éléments du remplissage, constituent encore des éléments nombreux d'irrégularité. Mais ces variations ne portent aucune atteinte aux règles générales de la structure, pas plus que les perturbations provoquées par l'écroulement plus ou moins fréquent des épontes.

L'observation des plus petits détails vient en effet à l'appui de cette hypothèse du remplissage normal par des plans d'accroissement à partir des salbandes. Ainsi M. Daubuisson, après une étude des filons de Freiberg, écrivait : « Lorsque les matières ont montré une grande tendance à se former en cristaux, soit parfaits, soit imparfaits (quartz hyalin, quartz améthysé, spath calcaire, etc.), on remarque que la pointe des cristaux de forme pyramidale est toujours tournée vers l'intérieur du filon, le cristal étant à peu près perpendiculaire aux salbandes. Chaque couche prend en consé-

quence, sur celle de ses faces tournée du côté de la salbande, l'empreinte des cristaux de la couche adjacente, tandis que les cristaux qu'elle porte sur l'autre face semblent enfoncer leurs pointes dans la couche subséquente. Enfin les cristaux des deux couches du milieu, se présentant leurs sommets, s'engrènent les uns dans les autres et finissent par remplir le filon. »

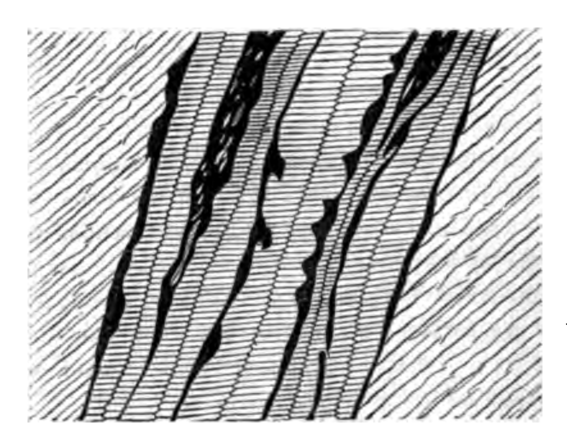


Fig. 1. — Structure d'un filon rubané de quartz cristallin avec zones métallifères symétriques.

Les mêmes caractères se retrouvent dans certaines parties des filons cuprifères à gangue de quartz cristallin du Cornwall. La figure 1 exprime les traits généraux de la structure rubanée et symétrique des zones métallifères teintées en noir et des zones de quartz cristallin, dont les prismes implantés normalement aux épontes se présentent leurs pointements.

Il semble, dans cet exemple, que l'ensemble du filon est composé d'une série de filons accolés, dont les salbandes sont métallifères.

Les filons ont donc des caractères spéciaux, non-seulement par leur composition, mais encore par le groupement et la structure des éléments constituants ; enfin, ils en ont encore par les substances accidentelles qui s'y trouvent disséminées. Nous ne pouvons citer d'exemple plus frappant que celui des filons argentifères d'An-

dreasberg au Hartz. L'argent antimonial, l'argent rouge, la galène et l'arsenic natif donnent un caractère particulier aux minerais qui en sont extraits ; les gangues de spath calcaire à géodes cristallines, où se trouvent en outre des zéolithes remarquables, telles que l'harmotome, la stilbite, l'analcime, etc..., constituent un second caractère non moins spécial. Les minerais se trouvent principalement rassemblés en une zone centrale et forment dans les galeries et dans les ouvrages en gradins des rubans très-distincts. Cette zone, à laquelle la forme testacée de l'arsenic donne une structure ondulée, était très-développée au 33e étage du Samson (650 mètres de profondeur), elle occupait le centre d'une bande de spath calcaire qui formait l'épaisseur du filon.

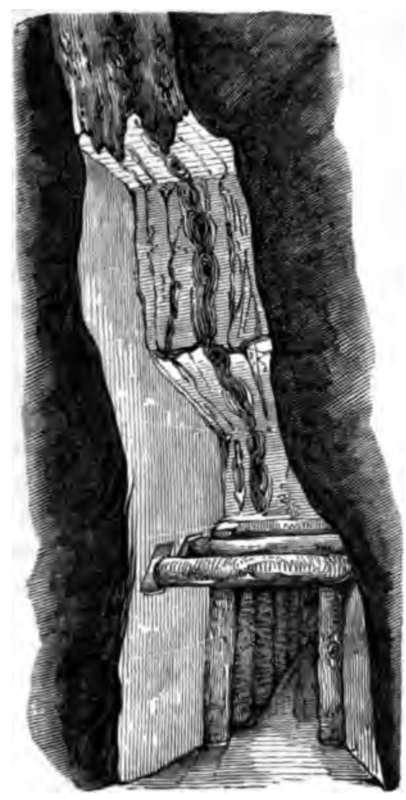


Fig. 2. — Filon le Samson, à Andreasberg.

La figure 2 représente l'aspect des gradins renversés qui avaient été taillés dans cette partie du filon. Elle met en évidence l'apparence générale du rubanement, qui se manifeste même dans la manière dont les roches se brisent.

La structure rubanée des filons est, en effet, exprimée de deux manières distinctes. *En grand,* par les zones successives et symétriques que présente la section du filon, par les salbandes qui le détachent du toit et du mur. Elle est exprimée *en petit* par les détails que présentent les échantillons détachés, par les délits et les clivages qui permettent de briser la roche dans un sens plus tôt que dans un autre.

Sous ce rapport, il est des filons comme des roches stratifiées ; les lignes de structure

d'un fragment indiquent la position qu'il devait avoir dans le gîte.

Nous avons dit que les filons métallifères sont très-souvent détachés du toit et du mur par des salbandes argileuses qui les rendent d'une exploitation plus facile que ceux qui sont *adhérents* aux épontes.

Sans qu'il y ait adhérence et sans qu'il y ait isolement des gangues métallifères par des salbandes argileuses, on trouve souvent les épontes des filons rayées par des *stries* plus ou moins profondes ou même polies, et présentant ce que les mineurs appellent des *miroirs*.

Ces surfaces striées ou polies sont évidemment dues aux frottements qu'ont dû éprouver les parois de la fracture, lorsque, par l'effet du rejet, les roches du toit ont glissé sur les roches du mur. L'existence de ces surfaces supplée quelquefois aux salbandes et facilite l'abatage complet que les mineurs appellent le *dépouillement* du filon.

La structure rubanée des minerais et des gangues ne peut pas toujours être attribuée à des faits de cristallisation. Dans certains cas, elle résulte de ce que la fracture primitive a été successivement agrandie, de telle sorte que des plaques minérales ont été accolées les unes aux autres par les actions qui remplissaient les écartements successifs.

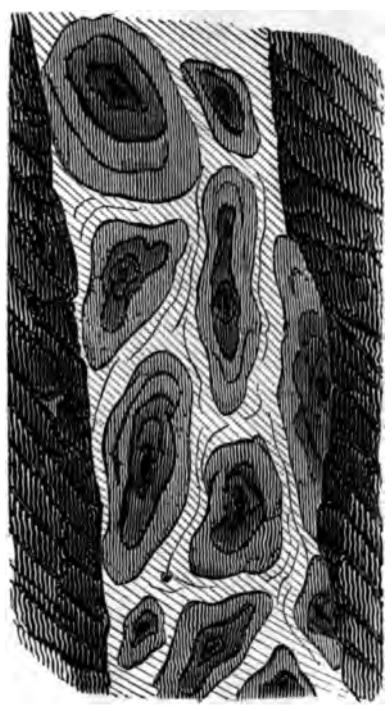
Ces mouvements du sol sont démontrés par des miroirs intérieurs entre les rubanements accolés.

D'autres observations tendant à démontrer ces détails de formation ont été faites sur beaucoup de points, notamment à Kurprintz, en Saxe, où l'on exploite un filon dont les druses et géodes cristallines ont été brisées; on retrouve aujourd'hui les fragments de ces druses déplacés et soudés par d'autres minéraux évidemment postérieurs à la dislocation. Des faits de même nature ont été constatés dans les filons de la Sierra de Los-Santos en Andalousie, dans les filons de Mouzaïa et des environs de Tenès en Algérie.

La structure rubanée des filons est très-souvent troublée par le mélange des roches du toit et du mur. Dans les districts métallifères du Taunus et du Westerwald, sur les bords du Rhin, les roches du toit et du mur écroulés en gros fragments anguleux forment

presque tout le remplissage des filons et le rubanement disparaît presque entièrement. On n'en retrouve plus de traces qu'entre les divers minerais, blende, galène et fer spathique, lorsqu'ils s'isolent sur des espaces un peu considérables.

Toutefois il y a beaucoup de filons qui, bien qu'uniquement composés de gangues spéciales et de minerais, ne sont pas rubanés. Ces filons portent le cachet d'une grande unité d'origine ; et, tandis que les filons rubanés donnent l'idée d'une succession des matières constituantes, toutes ces matières semblent contemporaines dans les filons à structure amygdaloïde, où les minerais et les gangues forment des sphéroïdes irréguliers à zones concentriques.


Fig. 3. — Filon Ventura (Sierra-Morena).

Le filon de Ventura, dans la Sierra-Morena (fig. 3), est un des exemples les mieux caractérisés qu'on puisse citer de cette structure. Un noyau de minerais sulfurés y est, par exemple, entouré de zones successives de spaths calcaires plus ou moins ferrugineux qui forment des sphéroïdes irréguliers, soudés par une sorte de bain quartzeux, dans lequel ils sont disséminés.

Cette structure amygdaloïde à zones concentriques se trouve exprimée d'une manière très-complète dans quelques filons spathiques du Westerwald, notamment dans celui d'Anxbach. Elle existe encore en quelques points de certains filons du Hartz, où la galène, la blende et le braunspath sont groupés de la même manière.

Dans un grand nombre de cas, les filons, n'étant composés que d'une seule et même substance, de quartz par exemple, ne présentent aucun trait particulier de structure, et ce n'est plus que

dans les parties métallifères qu'on peut observer quelques signes caractéristiques.

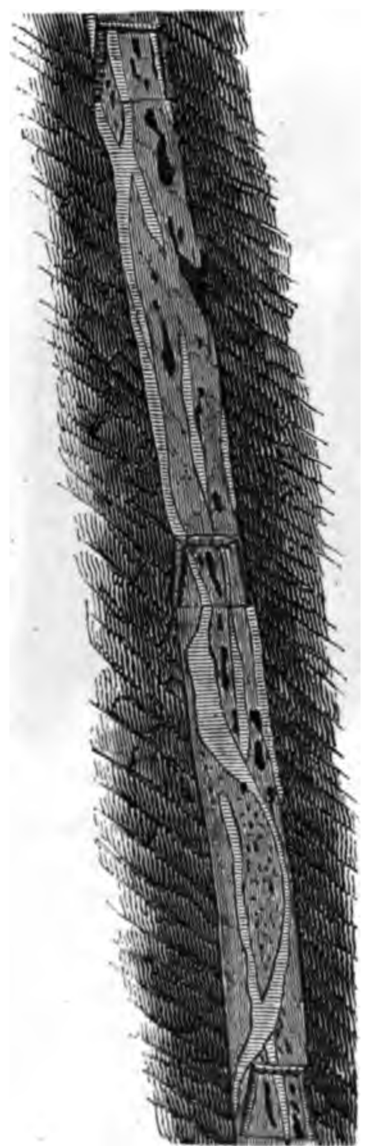


Fig. 4. — Filon à Mouzaïa (Algérie)

Lorsqu'on veut figurer l'apparence d'un filon, on en trace généralement une coupe par un plan perpendiculaire. C'est ainsi que la figure 4 représente un des filons de Mouzaïa, sur une hauteur d'environ 30 mètres. Ce filon est principalement composé de fer spathique et de baryte sulfatée. Dans la coupe, le fer spathique est indiqué par des hachures parallèles au toit et au mur ; la baryte sulfatée par des hachures horizontales ; et le cuivre gris, qui fait l'objet de l'exploitation, par des teintes noires.

On voit, d'après les tracés de ces diverses substances, indiqués par la coupe, que le rubanement, considéré sur une grande hauteur, peut être beaucoup moins régulier que lorsqu'on le considère seulement sur un espace restreint comme le front d'une des galeries.

Cette coupe met aussi en évidence le défaut de symétrie des rubanements, défaut qui existe dans beaucoup de circonstances et qui se rattache précisément aux conditions que nous venons de signaler. L'accroissement successif du filon est en partie dû à la formation de fissures et d'écartements successifs, qui se sont produits entre les premières épontes. C'est ainsi que la baryte sulfatée

(représentée sur la coupe par des hachures horizontales) a dû être postérieurement ajoutée dans le filon rempli par le fer spathique contenant le cuivre gris.

Lorsqu'une galerie vient à rencontrer un filon, deux cas peuvent se présenter, suivant les positions relatives du plan du filon et du plan de la galerie.

Si le filon est rencontré par une galerie en direction ou à peu près, et qu'il soit de moindre dimension que la galerie, il se dessinera sur le plan vertical du fond de la galerie, sous forme d'une bande inclinée, comme le filon dit Gottlober Morgen représenté par la figure 2 de la planche I. Ce sera une coupe transversale du filon.

Si, au contraire, le plan du filon a été croisé par une galerie de traverse, ce plan se présentera sur la paroi verticale du fond de la galerie, sous la forme d'une zone horizontale, et ce sera sur les parois de droite et de gauche de la galerie qui aura traversé le filon qu'on pourra voir sa coupe dans l'autre sens et juger son inclinaison.

Lorsqu'une galerie, perpendiculaire à la direction d'un filon, vient à le croiser, la zone horizontale, qui représente la puissance du filon, apparaît d'abord au sol de la galerie, si on recoupe le toit, au faîte de la galerie, si on recoupe le mur.

Les figures 1 et 2 de la planche IV font voir, sur des fonds de galeries, des rencontres de filons, présentant les traces verticales des filons *croiseurs* et les traces horizontales des filons *croisés.*

Les caractères de structure des filons sont tellement généraux et tellement précis, qu'avec un peu d'étude on arrive à distinguer parmi les blocs épars, parmi les cailloux roulés des alluvions, les fragments qui peuvent en provenir; il suffit pour cela de bien étudier dans leurs détails les caractères cristallins et la structure rubanée des gangues et des minerais.

La nature cristalline des éléments n'entraîne pas l'existence de facettes discernables; une structure clivable, soit même un éclat caractéristique, suffisent pour la manifester. Telle substance qui ne présente aucun éclat métallique est à l'état cristallin, parce que l'on y distingue quelques facettes de clivage, et quelques pointements dans les vides que laisse la structure rubanée.

Dans un même filon on peut rencontrer des parties dont les caractères cristallins et rubanés sont exprimés de manières très-différentes. Ainsi le même fragment, figure 5, provenant d'un

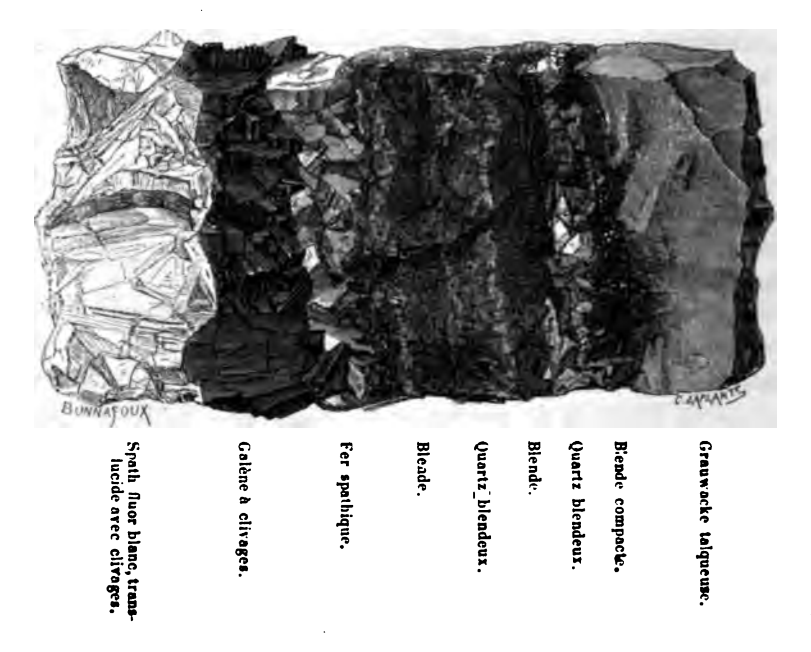


Fig. 5. — Fragment d'un filon rubané de Freiberg.

filon de Saxe, nous présente la blende compacte formant, avec un quartz blendeux, une série de zones irrégulières ; tandis que trois zones nettes et régulières sont formées par le fer spathique, la galène à facettes et clivages cubiques et par un spath fluor blanc sillonné de clivages octaédriques.

Le rubanement de tous ces éléments forme un ensemble expressif à tel point que l'on pourrait, en quelque sorte, replacer le fragment tel qu'il était dans le filon.

A droite, l'éponte enchevêtrée et pénétrée de blende ; à gauche, le spath fluor ; de telle sorte qu'en prenant cette dernière substance comme axe, et répétant des zones à peu près symétriques sur la gauche, le filon dans lequel ce fragment a été pris se trouverait complétement reconstitué.

Dans le filon finement grenu dont la figure 6 représente des rubanements multipliés (filon de Zellerfeld au Hartz), la struc-

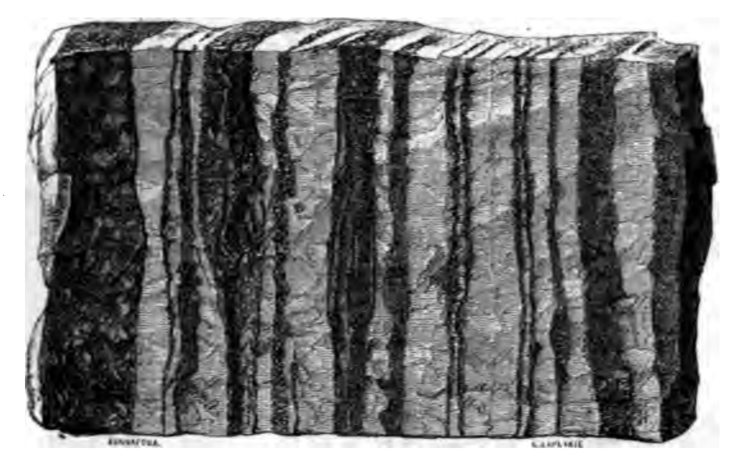


Fig. 6. — Fragment d'un filon rubané de galène et de spath calcaire.

ture cristalline s'apprécie seulement par les enchevêtrements pointillés de la galène à petites facettes et du spath calcaire saccharoïde. Dans cette partie du filon, les parties rubanées se séparent assez facilement et les plans de contact présentent des stries de glissement quelquefois luisantes par une sorte d'écrasement de la matière minérale.

Le remplissage des filons par substances cristallines et rubanées caractérise en général les parties les plus riches des filons. Mais la structure fragmentaire, c'est-à-dire le remplissage des filons par les débris écroulés des épontes, n'exclut pas toujours la richesse métallifère.

Dans beaucoup de cas, les écroulements des épontes ont formé, dans les filons, des remplissages incohérents dont les vides ont été remplis par les substances métallifères. Ces substances ont réuni et soudé les roches fragmentaires.

C'est ainsi qu'il existe au Hartz des minerais dits *Ringerz* ou minerais en anneaux, parce que les cassures des fragments enveloppés présentent en effet des zones métallifères fermées en anneaux.

Le filon principal de Zellerfeld au Hartz est un exemple classique de cette structure :

Ce filon est double : le filon principal (Haupt gang) et le Kronkalenberger gang. Ce dernier filon, qui est au toit, est formé :

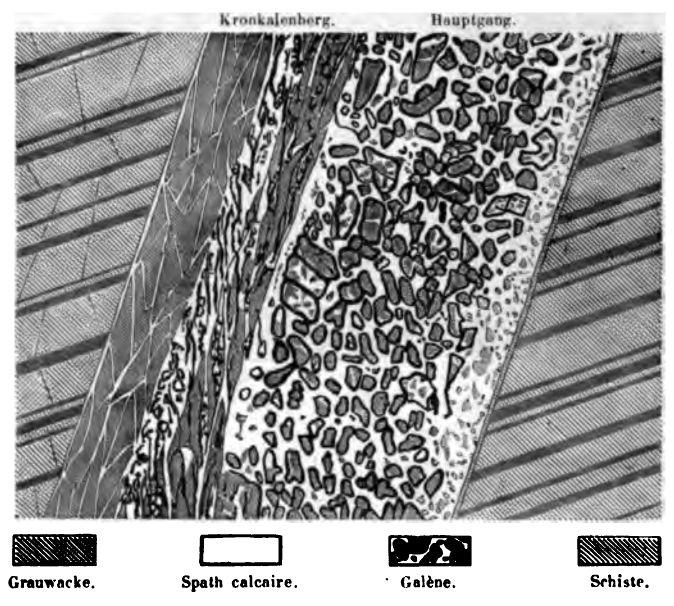


Fig. 7. — Coupe d'un filon à Zellerfeld au Hartz.

1° d'une épaisseur stérile formée par les débris des épontes, schistes et grauwackes, entrelacés de veines de spath calcaire ; 2° d'une partie métallifère composée des mêmes éléments sillonnés de veines de galène, structure habituelle des filons du Hartz.

Le filon principal est rempli de blocs et fragments de toutes dimensions, dont les angles sont arrondis. La galène a enveloppé ces blocs à la surface desquels elle adhère, de telle sorte que les sections forment des zônes annulaires. Le spath calcaire, souvent ferrifère (braunspath), a complété le remplissage en soudant toute la masse.

Les substances métallifères ont quelquefois pénétré et imprégné les roches tendres, les fragments de schistes par exemple, de manière à en masquer les caractères et à les transformer en frag-

ments de minerais. La figure 8 représente un échantillon pris dans le filon principal de Zellerfeld, dans lequel la galène a tellement



Fig. 8. — Fragment d'un filon de Zellerfeld au Hartz.

pénétré les fragments de schistes que ces fragments imbibés constituent le minerai ; le quartz cristallin a soudé l'ensemble.

Cette structure est fréquente dans les filons ; elle n'est pas toujours très-apparente, parce que les actions successives, qui ont ainsi amené des substances qui se sont enveloppées, ont quelquefois déterminé des pénétrations telles, que les fragments qui ont servi de centre aux superpositions successives semblent, en quelque sorte, fondus dans la masse.

Le filon de Lachevrette en Dauphiné est un type classique de la structure fragmentaire. Des fragments de schiste talqueux y ont été enveloppés d'abord de quartz, puis de fer carbonaté, qui ont pris une structure cristalline et presque radiée. Quelques veines de pyrite cuivreuse sont insérées dans ce remplissage.

La figure 9 représente un échantillon pris dans le filon de La Chevrette. Les fragments de schistes talqueux sont au centre, la



Fig. 9. — Fragment du filon de La Chevrette.

première enveloppe étant quartzeuse et ayant pénétré le schiste, de manière à le faire disparaître en partie. Le fer carbonaté qui forme la seconde enveloppe est plus distinct et mieux détaché.

Ces groupements annulaires, dont les sections forment des sortes de cocardes dont les zones diffèrent d'apparence et de couleur, ont surtout un caractère très-prononcé, lorsque, parmi les substances constituantes, il s'en trouve qui sont spécialement aptes à prendre la structure radiée. Ainsi, lorsque l'amphibole joue le rôle de gangue, il se trouve des parties du gîte où les minerais sont enveloppés d'amphibole radiée et entraînés dans cette structure à zones concentriques.

La figure 10 représente un fragment de pyrite cuivreuse enveloppé d'amphibole radiée. De nouvelles zones de pyrite se trouvent



Fig. 10. — Fragment de pyrite cuivreuse enveloppée d'amphibole radié.

comprises entre les enveloppes successives et radiées d'amphibole indiquées par l'échantillon, de telle sorte que l'ensemble présente l'apparence de cocardes cristallines volumineuses et très-caractérisées. Extérieurement, ces agglomérations cristallines ont l'apparence de sphéroïdes analogues à ceux que nous avons cités dans le filon Ventura (fig. 3).

Nous aurons à revenir sur les amphiboles métallifères de la Toscane et sur les conditions de leur gisement ; nous les citons ici pour compléter ces premières indications sur les groupements que peuvent présenter les minerais et leurs gangues.

ALLURES DES FILONS

Nous avons défini les filons comme des masses minérales aplaties, comprises sous deux plans à peu près parallèles, qui coupent généralement le plan de stratification des terrains encaissants sous des angles quelconques.

A la surface, un filon se manifeste soit par des affleurements continus et linéaires, soit par des affleurements interrompus qui suivent une *direction* donnée et se rattachent à une même ligne droite ou légèrement ondulée.

Si l'on vient à excaver le sol et à pénétrer dans les affleurements, on ne tardera pas à reconnaître que la plaque minérale qui les constitue s'enfonce suivant une *inclinaison* déterminée. Il y a, par conséquent, un *toit* et un *mur* immédiatement reconnaissables.

La direction et l'inclinaison une fois constatées, on connaît le *plan du filon ;* et, l'expérience ayant démontré la continuité de ce plan sur des espaces ordinairement considérables, il est facile de déterminer la profondeur à laquelle on doit rencontrer un filon en un point donné du district qu'il traverse. On peut également, sur un versant quelconque, indiquer quels sont les travaux, puits ou galeries, qui doivent atteindre un filon en profondeur.

Les *affleurements* sont donc les premiers indices de l'existence des filons, et, si la composition des minéraux constituants suffit pour révéler l'existence d'un gîte métallifère, la forme des affleurements n'est pas moins significative pour indiquer les conditions de son allure.

Ainsi, dans un grand nombre de cas, les roches qui constituent les filons sont plus dures et plus résistantes que les roches encaissantes. Il en est résulté que les agents atmosphériques, en dénudant et ravinant le sol, ont déchaussé les filons, qui dès lors forment des saillies linéaires plus ou moins prononcées et plus ou moins continues.

L'Algérie nous présente un exemple frappant de ce phénomène

d'affleurements sur le versant méridional de l'Atlas, au-dessous du col de la Mouzaïa (planche III). Plusieurs filons, composés de fer spathique et de baryte sulfatée, contenant du cuivre gris disséminé, traversent, en ce point, des alternances marneuses peu consistantes. Les pluies ravinent sans cesse ces pentes argileuses, et les filons, d'une désagrégation moins facile, forment des saillies ou affleurements très-prononcés. Ces saillies constituent des murailles linéaires, souvent élevées de plusieurs mètres, qui permettent à l'œil de suivre la marche des filons à travers le sol.

La planche III ci-jointe indique la vue des affleurements de deux filons parallèles, les filons Aumale et Montpensier. On les voit poursuivre leur course au milieu des montagnes et des ravins, des bois et des landes, et traverser les couches successives de la formation crétacée.

Au pied des affleurements, le sol est jonché de débris épars, décomposés par le temps ainsi qu'une partie des affleurements eux-mêmes. Cette décomposition a donné les teintes jaunes des oxydes de fer, et les teintes vertes et bleues des carbonates de cuivre aux diverses parties où dominaient ces éléments; de telle sorte que le changement de la composition du sol s'annonce de loin à l'observateur, aussi bien que le changement de forme qui résulte de la présence des filons.

Les phénomènes d'affleurements sont rarement ainsi prononcés, aussi nets que ceux qui sont représentés par la planche III. Les bois, la culture, suffisent pour les cacher, et souvent l'existence de filons de plusieurs kilomètres de longueur est à peine visible à la surface. C'est alors qu'il faut s'aider de tranchées artificielles pour les mettre en évidence et les suivre dans leur course. Ces tranchées doivent être ouvertes de distance en distance, sur le prolongement présumé et perpendiculairement à la direction, de manière à recouper sûrement le plan du filon.

Le plan d'un filon étant bien déterminé, soit par l'étude des affleurements, soit par des travaux superficiels, il convient de l'attaquer par des travaux souterrains, c'est-à-dire de le joindre en profondeur par un puits ou par une galerie.

Dès que l'on a croisé un filon par une galerie, il se manifeste un changement de composition limité par les lignes du toit et du mur.

Dans la planche I, placée en tête de ce chapitre, le filon Gottlober-Morgen, près Freiberg, est représenté au fond d'une galerie qui en suit la direction. On peut de suite mesurer sa puissance, qui est de 0m45, son inclinaison, qui est de 80 degrés, et prendre sa direction dans la galerie.

Le même filon, à une distance d'une centaine de mètres, se trouve divisé en trois petits filons parallèles, représentés planche VI ci-après, et se trouve ainsi très-amoindri par cette division et cet étranglement. Plus loin, il reprend sa puissance et même se développe par un renflement simple ou subdivisé ; de telle sorte qu'en suivant ce filon par les galeries d'allongement, on y trouve tous les exemples de variations d'allure. Il en est de même de tous les filons qui ont une certaine étendue.

Lorsque les filons s'enchevêtrent dans les roches du toit et du mur, comme le filon Peter (planche II), exemple pris également aux environs de Freiberg, les mesures de direction et d'inclinaison ne peuvent plus s'obtenir que par des lignes moyennes, résultant des observations que l'on a pu faire en suivant le filon sur une certaine longueur ; la régularité de l'allure d'un filon étant souvent dérangée, non-seulement par les ondulations du toit et du mur, mais encore par des bifurcations et des rameaux qui partent du plan principal et s'en écartent plus ou moins.

Plusieurs filons parallèles sont souvent rapprochés et se suivent de manière à former un faisceau ; c'est ce que les Allemands appellent un *zug*.

Les divers éléments de ces faisceaux, tantôt se réunissent dans leur course, tantôt s'isolent et s'écartent de manière à embrasser une épaisseur de terrain considérable. Telle est l'allure ordinaire des filons aux environs de Clausthal et Zellerfeld, où la dissémination des fissures d'un même faisceau embrasse, sur certains points, une épaisseur de terrain de plus de cent mètres.

Quelques-uns de ces faisceaux de filons sont remarquables par leur régularité. On peut, sous ce rapport, citer, comme type, le faisceau des filons d'Obernhof et d'Holzappel, dans le Nassau. Un filon principal, dit filon de la Roche blanche, composé d'un axe quartzeux et de deux bandes de blende et galène, est accompagné de deux filons de blende et de galène, l'un placé au toit et l'autre au mur.

Les caractères de ces filons se maintiennent assez constamment pour qu'on ait pu les suivre sur plus de vingt kilomètres de lon-



Fig. 11. — Zug ou faisceau de filons à Holzappel.

gueur. La figure 11 exprime, à l'échelle de 0m005, les conditions ordinaires du faisceau exploité à Holzappel.

Considérés dans l'ensemble de leur allure, les filons sont sujets à un grand nombre d'*accidents* et de variations de forme. Ils se renflent, se rétrécissent et sont même supprimés momentanément par des étranglements complets. Souvent ils sont croisés par d'autres filons ou de simples failles qui les interrompent et leur font subir des rejets; d'autres fois ils changent eux-mêmes de place par des courbures et des inflexions inhérentes à leur nature; dans certains terrains, ils sont nets et bien formés, tandis que dans d'autres ils se divisent et se ramifient.

Pour bien se rendre compte de ces variations d'allure, il faut se reporter à l'origine des filons.

La première condition qui détermine les détails de forme d'une fracture, ce que nous appelons son allure, c'est, en effet, la nature minéralogique et la structure des roches fracturées.

Lors donc qu'un filon, traversant des roches d'une certaine nature, passera dans d'autres roches, différentes par leur composition et leur structure, il changera nécessairement lui-même, dans les détails de ses formes et dans l'ensemble de son allure. Dans des roches homogènes qui se fracturent nettement comme les gneiss de Freiberg, les filons seront droits et réguliers; dans des roches feuilletées comme les schistes d'Andreasberg, au Hartz, les filons auront au contraire une allure ondulée et seront très-sujets aux ramifications.

Ces variations d'allure sont très-prononcées dans les filons de fer spathique cuprifère des environs de Tenès (Algérie), qui traversent à la fois des grès et des argiles délitables.

Dans les grès, les filons sont assez bien rassemblés, tandis que, dans les argiles, les fissures se multiplient et se disséminent à l'infini. Les filons y jettent à droite et à gauche une multitude de rameaux qui suivent souvent la stratification du terrain et semblent au premier abord de petites couches intercalées. Mais on reconnaît, en même temps, que ces petites couches sont réunies entre elles

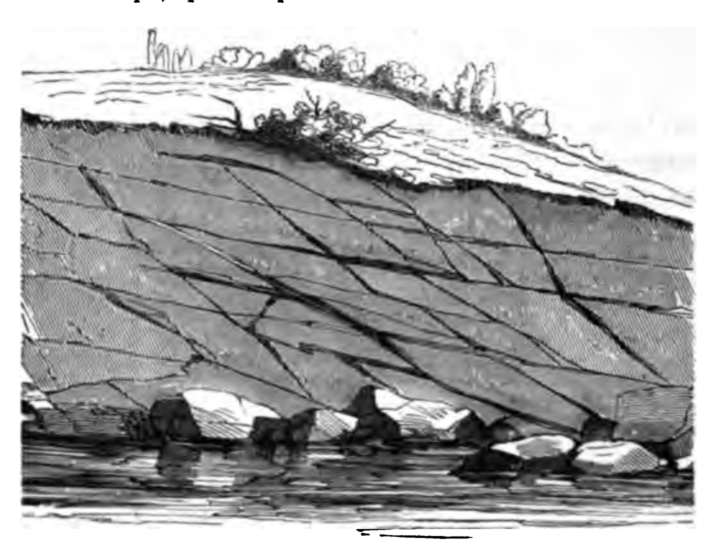


Fig. 12. — Filons réticulés, à Tenès (Algérie).

par des veines qui coupent la stratification et croisent les premières, en formant des réseaux plus ou moins étendus, ainsi qu'il est indi-

qué par la vue d'un escarpement (fig. 12) sur les bords de l'Oued-Allelah.

Ces gîtes en *veines réticulées* existent surtout dans les parties argileuses et très-fissurées du terrain ; la figure ci-dessus est un exemple de leur apparence ordinaire sur les berges des ruisseaux qui se trouvent au nord-est de Tenès.

L'influence des terrains encaissants sur la forme des filons est surtout appréciable suivant leur position relativement au plan de la stratification.

Lorsque les filons sont *concordants,* c'est-à-dire lorsque le terrain a été en quelque sorte *clivé* suivant le plan de la stratification des couches, les filons partagent toutes les conditions de courbure de ces plans. C'est ainsi que, dans le Taunus et le Westerwald, les filons suivent fréquemment les plans de la stratification ; aussi n'en voit-on nulle part qui soient si souvent et si fortement curvilignes.

On s'est longtemps servi, pour décrire les conditions diverses de l'allure des filons, d'une comparaison qui est assez juste. Que l'on coupe une feuille de papier suivant une ligne ondulée, et que l'on rapproche ensuite les deux sections en les déplaçant l'une par rapport à l'autre, on déterminera ce qu'on appelle une faille et un rejet.

Quelques points des sections ondulées se toucheront, mais il restera, au-dessus et au-dessous de ces points de contact, des vides qui représenteront la *coupe* du filon. Or cette coupe sera très-variable, suivant la nature des ondulations de la section. Si ces ondulations ont été faites profondément et également, la coupe présentera une série de vides amygdalins, puissants et séparés par des étranglements complets ; si les ondulations sont profondes et inégales, l'allure sera continue, mais très-variable en puissance ; enfin, si les ondulations sont peu profondes, on obtiendra des coupes de filons assez régulières et d'autant plus continues que les ondulations seront en même temps plus inégales.

Certains filons plombifères, qui ne sont qu'une série interrompue d'amas amygdalins, comme ceux de la Sierra-de-Gador en Espagne, peuvent servir d'exemple à la première hypothèse. Les filons puissants de Clausthal au Hartz, et de la Prusse rhénane se rap-

porteraient plutôt à la seconde ; enfin, lorsque les ondulations sont peu profondes, nous pourrions leur comparer les filons d'Andreasberg, de Freiberg, et les filons concordants d'Holzappel et Obernhof.

Très-souvent, les filons ont été formés successivement par plusieurs déplacements ou glissements du toit, ainsi que l'indique la

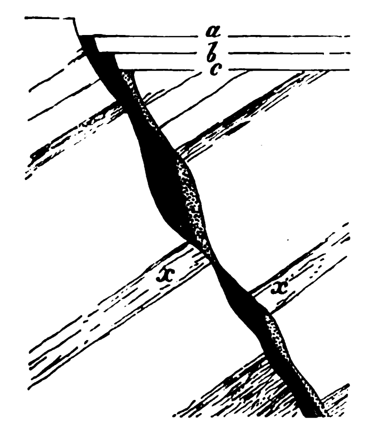


Fig. 13. — Formation successive des filons.

figure 13. Le toit s'étant affaissé de manière à descendre successivement en *a*, *b*, *c*, il en est résulté trois écartements qui ont été successivement remplis. La couche rejetée *x*, *x*, indique la somme de ces trois déplacements et les diverses teintes marquent les variations des éléments du remplissage.

Dans ces diverses hypothèses, c'est évidemment la nature des roches fracturées qui est l'élément principal des conditions de l'allure des filons.

Que l'on étudie les cartes générales successivement placées dans ce volume et représentant des groupes de filons : 1° la carte des filons argentifères des environs d'Andreasberg ; 2° celle des filons de Consolidated mines, en Cornwall ; 3° celle des filons de Clausthal et Zellerfeld, au Hartz ; 4° celle des filons de Freiberg en Saxe ; on aura une idée des diverses conditions d'allure que peuvent suivre les filons.

On voit qu'un filon peut se courber et se ramifier comme à Andreasberg; qu'il peut se composer de lignes droites heurtées, qui, après une allure régulière, se ramifient à l'infini, comme aux environs de Clausthal ; tandis que les environs de Freiberg fournissent l'exemple des plus belles lignes de développement.

Quant aux variations de détail, nous pouvons en prendre quelques exemples dans les filons d'Andreasberg, où les couches du terrain schisteux encaissant présentent des variations nombreuses, soit par l'interposition de bancs de kieselschiefer ou schistes siliceux ; soit par celle des diorites ; soit enfin par celle de gros filons fragmentaires et stériles, qui sont concordants et désignés sous le nom de *ruschels*.

Le kieselschiefer est une roche dure et résistante, comparativement aux schiste sargileux avec lesquels il alterne. Il fait très-souvent dévier un filon et l'oblige à le traverser obliquement. Cette déviation a pour résultat de rejeter le filon dans un autre plan.

D'autres fois ce sont des couches très-fendillées dans lesquelles le filon se divise, se ramifie, et quelquefois même se perd.

Les ruschels ont presque toujours exercé une influence de cette dernière nature sur l'allure des filons, qui tendent à s'y perdre,

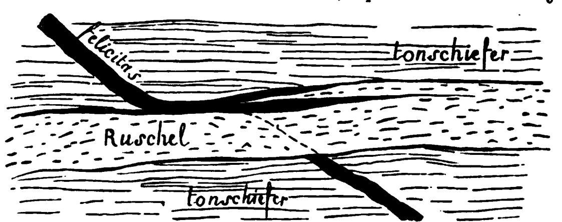


Fig. 14. — Plan du filon Felicitas, traversant une ruschel.

quoique leur direction soit presque perpendiculaire et leur inclinaison inverse. Ainsi, le filon dit *Felicitas* (fig. 14), venant heurter la ruschel-silberburger, est le plus souvent complétement entraîné par elle, et s'y perd en s'y ramifiant. Sur d'autres points, cet entraînement n'est que momentané, et le filon reparaît de l'autre côté, mais toujours après avoir éprouvé un rejet prononcé, ainsi qu'il résulte de la coupe horizontale ci-dessus, de telle sorte qu'après avoir traversé la ruschel stérile, il faut rechercher le prolongement du filon qui, généralement, se trouve du côté de l'angle obtus, dans le plan de croisement.

Ce rejet tendrait à faire supposer que le filon métallifère est le plus ancien, si l'on ne voyait en quelque sorte le mécanisme de la déviation exprimé par un entraînement momentané.

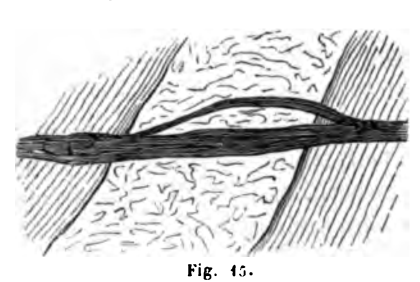


Fig. 15.

En beaucoup de points, le passage d'un filon d'une roche dans une autre détermine des ramifications qui, après s'être éloignées du filon principal, finissent par s'y souder de nouveau; allure indiquée par le plan du Samson à Andreasberg, traversant une roche dioritique (fig. 15).

Le point où cette bifurcation s'est produite avait une certaine célébrité à Andreasberg, car on y a trouvé une des plus belles accumulations d'argent rouge et sulfuré, que l'exploitation ait rencontrées.

Comme les filons résultent de phénomènes postérieurs aux terrains encaissants, ils sont généralement indépendants de la stratification de ces terrains et la coupent sous des angles plus ou moins prononcés ; mais il arrive quelquefois que leur direction coïncide avec celle de la stratification ou s'en rapproche beaucoup, et leur allure en est généralement modifiée. Cette direction partage, dans ce cas, les inflexions auxquelles sont ordinairement sujettes les couches, et il en résulte une allure ondulée dont les filons du Schwabengrube, dans le Stahlberg (planche VIII), peuvent donner une idée. Nous avons déjà signalé ces filons concordants comme très-fréquents dans les provinces du Taunus et du Westerwald, où, indépendamment des ondulations de leur allure, ils présentent de grandes variations de puissance.

Parmi les accidents inhérents à la constitution de ces filons, ceux qui peuvent le plus embarrasser sont les inflexions brusques qui les rejettent dans un autre plan, d'autant que ces parties infléchies sont très-souvent étranglées. Les mines d'Obernhof et d'Holzappel, ouvertes sur des filons concordants et de 0^m50 à 1^m50 de puissance, présentent des exemples fréquents de ces inflexions qui sont désignées sous la dénomination de *bancs*.

La figure 16 représente la disposition d'un de ces *bancs* dans les mines d'Holzappel.

Le filon est rejeté dans un plan parallèle distant de huit à dix mètres du premier ; la trace de son inflexion était si faible, qu'une



Fig. 16. — Rejet d'un filon concordant à Holzappel.

galerie l'avait traversée sans qu'on l'eût aperçue, et que le filon n'a pu être retrouvé que par le fonçage d'un puits intérieur.

Lorsque les filons traversent les alternances de couches dissemblables, la puissance, la direction et même la composition peuvent varier en passant d'une roche à l'autre.

Le filon d'Halzbrück, près de Freiberg, est un des exemples classiques de cette influence. L'axe de ce filon, au lieu de présenter une coupe en ligne continue, offre une ligne en zigzag, ou même une série de lignes parallèles qui se trouvent dans des plans différents. En parcourant ainsi des couches qui diffèrent d'élasticité et de ténacité, les filons peuvent non-seulement éprouver des variations d'allure, mais aussi de puissance ; principe important, puisqu'il nous explique d'avance pourquoi des filons riches et puissants dans une roche sont étranglés, divisés et stériles dans une autre.

Les filons plombifères qui traversent les calcaires du Derbyshire et du Cumberland sont des exemples bien connus de ces variations. Dans des interstratifications des trapps avec les calcaires carbonifères, les fentes très-marquées dans les calcaires se perdent dans les trapps ; d'où il résulte que les calcaires seuls sont métallifères.

Dans quelques circonstances, des fentes ont été produites par le bombement du sol ; de telle sorte que les terrains préexistants, forcés de recouvrir un espace plus considérable, se sont fracturés lorsque la limite de leur élasticité a été dépassée. Les fentes ainsi produites sont plus larges à leur partie supérieure que dans toute autre, et leur coupe présente la forme d'un coin , d'où leur est venu le nom de *filons cunéiformes.* Il est probable qu'une assez grande quantité des filons, qui ne sont pas des filons-failles, c'est-à-dire dont les deux parois ont été séparées, mais sans dénivellement, ont une origine analogue; mais cette forme ne peut devenir appréciable qu'en descendant à de grandes profondeurs.

Un fait essentiel à mentionner, c'est que, s'il est beaucoup de cas où des filons se sont appauvris et ont diminué de puissance en profondeur, il n'en est pas un seul où l'on ait pu constater une limite inférieure. Ainsi donc, malgré les irrégularités des filons, toutes les fois qu'on aura constaté la direction et l'inclinaison de l'un d'eux, un travail fait pour aller le recouper en profondeur sera toujours certain, et ne sera exposé qu'aux chances ordinaires des variations de puissance ou de richesse, sans qu'une suppression absolue de la fissure soit jamais à craindre.

Rien n'est plus variable que les *dimensions* des filons métallifères.

On a souvent cité le filon argentifère de la Veta-Madre, près Guanaxuato, au Mexique, comme le plus puissant des filons exploités. Sa puissance varie de 30 à 45 mètres ; il a été suivi sur une longueur de plus de 12,000 mètres, et les travaux d'exploitation ont dépassé 400 mètres de profondeur.

D'autres filons ont à peine quelques décimètres : tels sont les filons stannifères du Limousin, qui varient entre 0m01 et 0m03.

S'il est permis d'indiquer une moyenne dans des circonstances aussi variables, on peut dire que la puissance la plus ordinaire des

filons est comprise entre 1 et 2 mètres et qu'ils peuvent être suivis sur une longueur de 500 à 1,000 mètres.

Parmi les filons célèbres par leur puissance, on peut citer, en France, le filon de La Croix, près de Sainte-Marie-aux-Mines, dans les Vosges; sa puissance est de 20 à 25 mètres. Mais le minerai est loin d'y être en rapport avec la puissance, et les exploitations, ouvertes de temps immémorial, ont été abandonnées par suite des frais nécessités par l'épuisement des eaux. Ce filon peut être suivi sur une longueur de 3,000 mètres.

A Freiberg, une exploitation de quatre siècles a ouvert un filon d'un mètre de puissance, sur une longueur de 3,600 mètres et une profondeur de 580. Le plus puissant de ce riche district est l'Halsbrück-Spath, qui a 2 à 3 mètres de puissance et environ 6,000 mètres d'affleurement.

Les filons d'Andreasberg, au Hartz, de 0m30 à 1 mètre de puissance, ont été suivis jusqu'à 700 et 800 mètres de profondeur sans offrir de variation notable dans leurs conditions d'allure ou de composition.

Le filon Mordlauer, en Franconie, est considéré comme le plus puissant de l'Allemagne; il a de 10 à 12 mètres d'épaisseur sur un développement de 18,000 mètres en direction. Enfin, parmi les filons très-puissants, on en cite un à Schemnitz, en Hongrie, qui n'a pas moins de 30 mètres.

Ces exemples du grand développement que peuvent atteindre les filons sont, d'ailleurs, tout à fait exceptionnels, et les filons de peu d'épaisseur, tels que ceux d'Andreasberg et de Freiberg, sont souvent d'une exploitation plus avantageuse que les filons très-puissants, où les roches du toit et du mur forment presque toujours les gangues dominantes.

Comme tous les caractères des filons, les dimensions offrent dans chaque district une certaine similitude. Ainsi, aux environs de Freiberg, la puissance d'*un mètre* est réellement une moyenne. Cette moyenne est de 0m50 pour les filons d'Andreasberg, au Hartz ; tandis que, pour ceux des environs de Clausthal et Zellerfeld, elle est de 5 à 8 mètres. Les filons de 2 mètres sont les plus fréquents dans le Westerwald, ainsi que dans le district métallifère de la Sierra-Morena ; enfin, le Cornwall nous ramène à la moyenne d'un mètre.

RELATIONS ET GROUPEMENT DES FILONS.

Il est très-rare qu'un filon soit isolé dans une contrée; il existera, par exemple, sinon d'autres filons de même espèce, au moins des filons stériles ou des filons caractérisés par d'autres minerais. Dès qu'il existe plusieurs filons, il y a nécessairement des relations entre eux. Considérés sous le rapport purement graphique, des filons peuvent être *parallèles;* s'ils ne sont pas parallèles, il peut arriver qu'ils forment des *croisements.*

Examinons d'abord les faits qui résultent de la dernière hypothèse, c'est-à-dire de la rencontre de deux filons.

Si nous supposons la rencontre de deux filons, il y aura un filon *croiseur* et un filon *croisé;* de là, une distinction dans l'âge de formation; le filon croiseur sera évidemment plus moderne que le filon croisé.

Un filon croiseur se distingue facilement en ce qu'il n'éprouve dans son allure aucune interruption; le filon croisé, au contraire, présente une solution de continuité résultant de la rencontre même. Supposons en outre, et c'est le cas le plus ordinaire des filons, que le croiseur ait produit une *faille*, c'est-à-dire qu'il y ait eu déplacement relatif des deux parois de la cassure, il en résultera nécessairement un *rejet*, c'est-à-dire que, même après avoir traversé l'épaisseur du croiseur, on ne retrouvera pas le plan du filon croisé dans le prolongement naturel de la partie connue.

Les *rejets* sont, parmi les accidents des filons, ceux qui ont été le plus étudiés, parce que, dans l'exploitation, ils ont plus d'importance que tous les autres. Il est, en effet, peu de filons qui ne soient croisés dans leur parcours soit par des filons postérieurs plus ou moins puissants, soit par de simples fentes sans épaisseur que l'on appelle *filets.*

Il y a dans ce cas deux questions à résoudre : Quel est le sens du rejet? quelle est son amplitude, c'est-à-dire quelle est la différence de niveau des deux parties?

On peut dire qu'il n'existe aucune règle absolue qui permette de répondre à ces deux questions, et pourtant, dans la plupart des

pays de mines, l'étude pratique du phénomène conduit à des hypothèses très-probables. Schmidt a posé cette règle : que les rejets avaient toujours lieu comme si le toit du croiseur avait glissé sur son mur resté fixe, suivant le sens de la pesanteur.

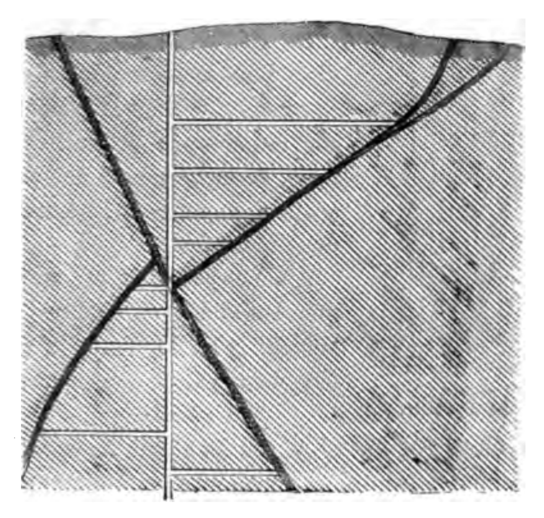


Fig. 17. — Rejet suivant la théorie, d'un filon par un croiseur.

La figure 17 représente la coupe d'un filon du Cornwall, rejeté dans le sens de la théorie par un croiseur stérile.

La théorie de M. Schmidt est justifiée dans tous les districts métallifères, par des exemples nombreux ; elle se vérifie très-fréquemment dans les filons du Hartz, et pourtant nous y trouvons aussi des exceptions.

Ainsi on a constaté dans les mines d'Andreasberg des rejets suivant la théorie et des rejets contre la théorie. Dans ces derniers, c'est le toit du croiseur qui a remonté sur son mur.

Ces rejets contre la théorie appartiennent presque tous à des failles postérieures aux filons métallifères ; ce sont les dernières fractures qui ont affecté la région des filons d'Andreasberg ; elles n'ont ordinairement qu'une très-faible épaisseur, et sont complétement stériles. Ce qui rend ces failles très-intéressantes, c'est que leur manifestation concorde toujours avec l'apparition dans le voisinage de masses éruptives amphiboliques qui ont pénétré les thonschiefer, et se sont insérées dans leur plan de stratification.

Ces amphibolites postérieures aux filons semblent justifier, par leur intervention (fig. 18), les fractures que les filons ont subies et le sens du rejet qui a fait remonter le toit de la faille sur son mur.

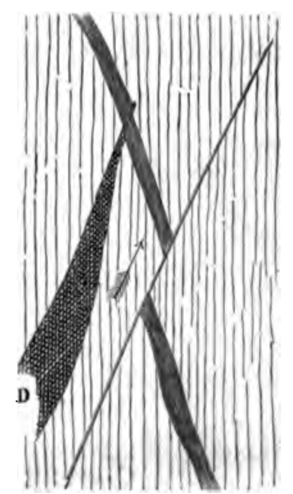


Fig. 18. — Rejet contre la théorie d'un filon d'Andreasberg.

On s'est appuyé sur cet exemple pour dire, d'une manière générale, que les rejets contre la théorie étaient expliqués par la présence de roches éruptives ; mais, dans beaucoup de cas, ces rejets se produisent sans l'intervention d'aucune roche ignée.

Ainsi on peut dire, par approximation, que les quatre cinquièmes des rejets suivent la loi de Schmidt, tandis qu'un cinquième est en sens contraire.

Dans les filons réguliers et continus qui forment le faisceau d'Holzappel, on a rencontré, sur quelques points, des rejets contre la théorie sans l'explication par la présence de roches éruptives.

La figure 19 représente le filon principal de ce faisceau affecté par un petit rejet contre la théorie.

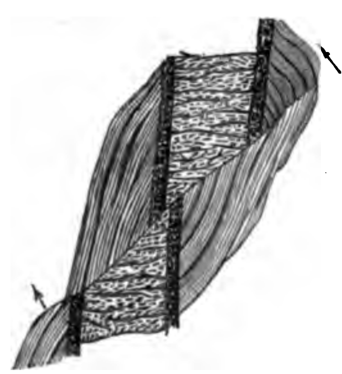
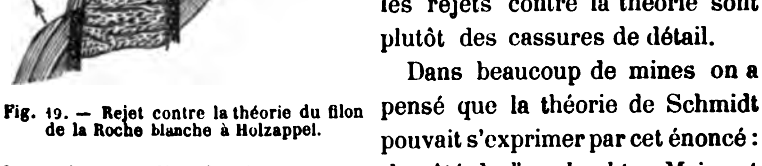



Fig. 19. — Rejet contre la théorie du filon de la Roche blanche à Holzappel.

On remarquera seulement que les exemples cités portent sur des rejets de peu d'importance. Dans les deux localités que nous venons de mentionner, Andreasberg et Holzappel, les rejets principaux obéissent à la loi théorique, et les rejets contre la théorie sont plutôt des cassures de détail.

Dans beaucoup de mines on a pensé que la théorie de Schmidt pouvait s'exprimer par cet énoncé : les rejets ont lieu le plus souvent du côté de *l'angle obtus*. Mais cet énoncé est défectueux, parce que l'angle du rejet, suivant la probabilité de la théorie, dépend entièrement de la position du plan croisé par rapport au plan croiseur.

Les figures 20 et 21, 22 et 23 représentent des filons coupés par des failles et rejetés du côté de l'angle aigu ou du côté de l'angle obtus.

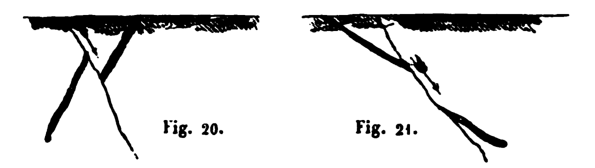


Fig. 20. Fig. 21.

Dans un cas (fig. 20 et 22), le plan de la faille suit une inclinaison inverse de celle du filon ; et dans l'autre cas (fig. 21 et 23), les inclinaisons du filon et de la faille sont dans le même sens.

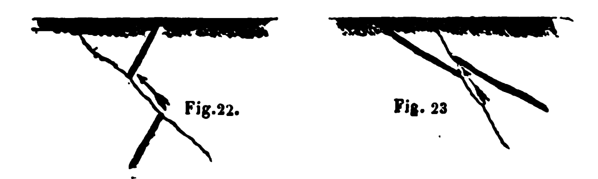


Fig. 22. Fig. 23

Les figures 21 et 22 représentent deux rejets suivant la théorie. Les figures 22 et 23 représentent deux rejets contre la théorie.

D'après les indications de ces figures, on peut résumer ainsi la loi des rejets :

Les filons qui se croisent sont à pente *recte*, c'est-à-dire que leurs inclinaisons sont dans le même sens ; ou bien ils sont à pente *inverse*, c'est-à-dire que leurs inclinaisons sont en sens contraire.

Dans le cas d'une pente *recte*, les rejets suivant la théorie peuvent avoir lieu du côté de l'angle obtus, et les rejets contre la théorie du côté de l'angle aigu.

Dans le cas d'une pente *inverse*, les rejets suivant la théorie peuvent avoir lieu du côté de l'angle aigu, et les rejets contre la théorie du côté de l'angle obtus.

On remarquera dans ces dispositions de failles deux particularités essentielles : dans la première, la couche se double sur elle-même par l'effet du rejet; dans la seconde, il y a, au contraire, suivant la direction, une zone d'interruption qui, projetée sur le plan horizontal; forme une surface stérile d'autant plus large que le rejet est plus considérable.

Si le rejet est produit par une cassure exactement verticale, on ne peut déterminer le sens de ce rejet que par l'étude détaillée des roches du toit et du mur, que l'on compare à celles dont les affleurements sont visibles.

Lorsqu'une galerie ouverte dans un filon arrive à une faille, elle rencontre subitement une surface de roche, droite ou inclinée. Si la cassure a de l'épaisseur et se trouve remplie de débris, la galerie traversera le remplissage avant d'arriver à cette surface qui est le toit ou le mur de la faille. Elle devra pénétrer ensuite dans les roches encaissantes, et l'étude locale permet alors quelquefois de déterminer si ces roches encaissantes appartiennent au toit ou au mur du filon exploité.

Les figures 1 et 2 de la planche IV, prises par le professeur Weissembach dans les mines de Freiberg, représentent avec exactitude les diverses variations d'allure de filons déjà cités et des exemples intéressants de croisement.

Dans le premier cas (fig. 1), le filon Neuhoffnunger-Flache, déjà représenté planche II, est coupé par les Christianer-Stehendegange, dont chaque ramification occasionne une dénivellation différente du filon croisé. Dans le second cas (fig. 2), le Gottlober-Morgengange, déjà représenté planche I (fig. 2), est divisé en trois ramifications, et chacune de ces divisions rejette aussi le filon croisé dont la direction est à peu près perpendiculaire à la sienne.

Des rejets de même nature sont indiqués dans la galerie de Zinnwald, planche I (fig. 1).

La planche XVIII ci-après, qui représente la coupe d'un filon de Tenès en Algérie, indique l'existence de deux rejets dans le même filon : l'un, placé près des affleurements, et recoupé par le premier puits, présente une disposition contre la théorie ; le second, au contraire, lui est conforme.

Ces exemples de croisements de petits filons se reproduisent d'une manière analogue pour les filons puissants ; mais, dans ce cas, il est beaucoup plus difficile de reconnaître les détails du phénomène, car ils ne peuvent plus être mis en évidence par une seule section de galerie.

Il est rare qu'on puisse voir un phénomène de rejet autrement qu'en coupe dans l'intérieur des travaux souterrains. Les plans de

surface où ces rejets se trouvent mis en évidence résultent du lever de ces travaux souterrains, et le phénomène est constaté par les opérations graphiques, plutôt qu'il ne se voit. Dans quelques circonstances, cependant, les affleurements peuvent fournir la vue de croisements et de rejets. L'exemple représenté planche V est l'expression la plus évidente de ce phénomène.

Cet exemple est pris sur l'affleurement d'un des filons d'Obernhof dans le duché de Nassau. Un filon quartzeux, de $0^{m}50$ à $0^{m}80$ de puissance, contenant de la pyrite cuivreuse, est incliné à 70°; il est coupé par un filet peu épais et peu incliné qui détermine un rejet d'une dizaine de mètres. L'escarpement qui met ce rejet en évidence se trouve sur la route de Weynähr.

Deux filons qui se croisent présentent le plus souvent des différences prononcées dans leur composition en gangues et en minerais. Les filons *parallèles* ont au contraire, sous le rapport de la composition, les relations les plus intimes. Il résulte de ce fait une véritable classification géognostique, car ce sont toujours les filons appartenant à un même type de composition et de direction qui seront croisés par des filons appartenant à un autre type, et qui croiseront eux-mêmes les filons d'un troisième type.

Ces relations que présentent la direction et la composition des filons furent d'abord observées en Saxe et dans le Hartz, où Werner reconnut que les filons de même composition étaient parallèles entre eux, et que les filons de composition différente couraient généralement dans des directions différentes. Ainsi, à Ehrenfriedersdorff, des filons argentifères, dirigés nord-sud, coupent des filons d'étain dirigés est-ouest; chacun de ces systèmes de composition comprend une série de filons dont les directions et les inclinaisons sont parallèles. Dans le Cornwall, on a reconnu neuf systèmes de filons distincts : deux systèmes de filons d'étain, un de porphyre, trois de cuivre, un de quartz et deux d'argile, dont l'ordre géognostique et les directions ont été constatés.

La carte qui accompagne ci-après la description des mines du Cornwall représente le plan superficiel des principaux filons et donne idée de ces croisements de divers systèmes de filons parallèles entre eux. On voit que les filons métallifères courant à peu près est-ouest sont coupés et rejetés par des filons croiseurs courant nord-sud.

Dans la mine d'Huel-Peawer (fig. 24), les filons d'étain sont coupés et rejetés par les filons de cuivre ; et ces deux systèmes sont

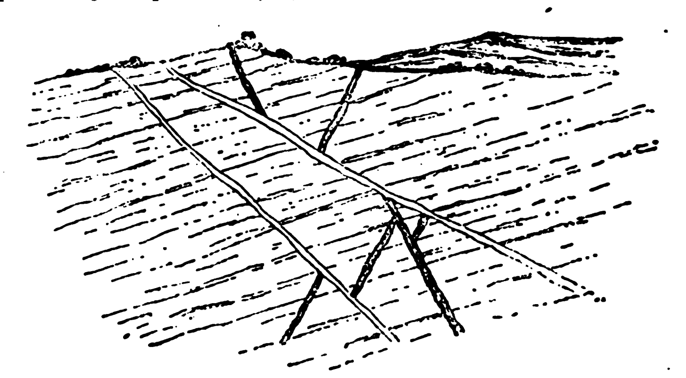


Fig. 24. — Croisements des filons à Huel-Peawer en Cornwall.

encore coupés et rejetés par les filons argileux croiseurs (cross-courses), qui sont les plus modernes.

En résumé, les faits qui ressortent de l'examen des districts de filons sont : que les filons formés à une même époque ont généralement une composition identique et sont parallèles, c'est-à-dire que le sol ayant été d'abord fracturé dans une direction déterminée, ces fentes ont été remplies ; qu'il s'est ensuite formé d'autres fractures dans une nouvelle direction qui ont été comblées par d'autres substances, lesquelles ont été suivies de nouvelles fentes appartenant à un autre système, et ainsi de suite.

Ces phénomènes qui ont donné naissance à des séries de filons parallèles entre eux, ont été signalés par Werner, qui posait ainsi la première base de la théorie des révolutions du globe de M. Élie de Beaumont, théorie qui a mis en évidence le principe du parallélisme des accidents du globe terrestre.

Les filons, ainsi liés entre eux par des relations de direction, doivent en effet présenter des rapports de même ordre avec les grands accidents du sol dont ils ne sont en quelque sorte que les détails. M. Élie de Beaumont a fait ressortir, dans plusieurs contrées, ces rapports, qui ne sont nulle part plus saillants que dans les Iles Britanniques. La chaîne Pennine présente le parallélisme des crêtes montagneuses, des failles, des dykes et des filons sur une

étendue considérable. Les Vosges, les chaînes de l'Auvergne, les districts métallifères des Alpes, de la Saxe, de la Bohême, etc., confirment ces relations de parallélisme entre les grands accidents de la surface du globe et les divers systèmes de cassures qui en furent la conséquence.

Il ne faut pas cependant trop généraliser ce principe. Par cela même que les filons ne sont que des faits de détail, leurs directions sont souvent complexes, mais il suffit de pouvoir établir les rapports de leur allure avec la configuration extérieure du sol, et surtout avec la nature des terrains traversés, pour déduire de ces principes une multitude de faits qui, dans la pratique, peuvent être d'une grande utilité, en servant de guides pour les travaux de recherche.

Il faut, d'ailleurs, considérer le parallélisme des filons ou des lignes géologiques comme un parallélisme des directions générales, ces directions étant sujettes elles-mêmes à des ondulations. Il résulte, en effet, de ces ondulations, que deux lignes qui peuvent être considérées comme parallèles, si on considère leur allure générale sur une grande longueur, cessent de l'être lorsqu'on prend pour termes de comparaison de petites parties de cette longueur.

Les failles et les rejets sont les accidents les plus graves des filons et ceux qui portent les plus grands préjudices aux exploitations. Une faille avec rejet prive, en effet, l'exploitation de sa base essentielle. Le filon que suivaient les galeries d'allongement disparaît subitement; ces galeries prolongées pénètrent d'abord dans un croiseur stérile, puis dans les terrains encaissants.

Lorsqu'on vient se heurter ainsi contre un croiseur stérile, les deux questions posées, *le sens du rejet* et *son amplitude,* laissent le plus souvent dans l'incertitude sur les travaux à entreprendre. Aussi les croisements de filons ont-ils été de tous temps l'objet d'études suivies. On en trouve l'indication dans l'œuvre d'Agricola qui date de 1657; dans les mémoires de Werner, en 1791; de Schmidt, en 1810; de Zimmermann, en 1828. Les observations de ces géologues ont été résumées par M. Graff, dans un mémoire spécial dont nous extrayons le passage suivant :

« La disposition d'un croisement et d'un rejet est exprimée

(en plan) par la figure 25 ; AB représentant le plan d'un filon croisé dans sa direction AC par le plan EF E'F', avec lequel il forme l'in-

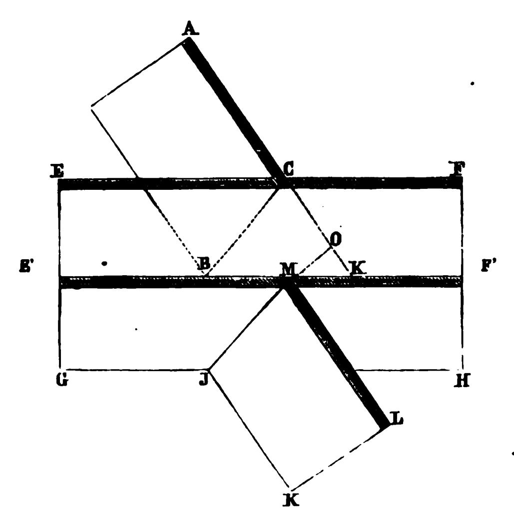


Fig. 25. — Plan d'un croisement de filons.

tersection CB qui peut être considérée comme le plan du mur du filon croiseur. A partir du plan E'F'GH, qui représente le toit du croiseur, le filon rejeté continue sa direction ML dans la partie MK, et forme avec le plan du filon croiseur l'intersection MJ.

« Si ces deux intersections CB et MJ ne restent pas l'une devant l'autre et se trouvent, comme la figure l'indique, l'une à côté de l'autre, alors le filon interrompu, qui s'appelle filon croisé, a été déplacé ou rejeté par le filon croiseur.

« MK' indique dans la figure l'étendue du rejet sur le plan croisant ; MO est la perpendiculaire entre les deux directions des parties séparées parallèlement l'une à l'autre du filon croisé, et par conséquent l'étendue du rejet prise dans le plan horizontal.

« Déjà, bien longtemps avant que Schmidt eût fait paraître sa *Théorie des rejets des filons*, la pratique des mineurs était parvenue à se former une règle fondée sur des faits nombreux. D'après cette règle, tout filon rejeté par un autre doit se retrouver du côté de l'angle obtus formé par l'intersection des deux filons au point de rencontre. Cet énoncé est d'accord avec la théorie, si les filons sont à

pente recte, et si le croiseur est le plus incliné des deux, ou si l'inclinaison des deux filons est égale; il laisse du doute dans le cas où le croiseur est le moins incliné, et il est complétement en défaut si les deux filons sont à *pente inverse*, le rejet ne pouvant avoir lieu que du côté de l'angle aigu. Cependant, comme ces derniers cas sont moins fréquents dans la nature que ceux auxquels la règle s'applique, conformément à la théorie, il n'est pas étonnant qu'elle ait longtemps servi de guide aux mineurs, à l'exclusion de toute autre.

« Dans tous les cas douteux, il convient donc de n'agir que selon la règle générale que nous allons énoncer aussitôt que nous nous serons expliqué sur ce que nous nommons pente recte et pente inverse des filons.

« Deux filons sont dits par nous à pente recte *(rechtsinnig fallend)* lorsque l'angle formé par leur inclinaison ne dépasse pas 90°, et dans le cas contraire les filons sont dits à pente inverse *(widersinnig fallend)*. Il résulte donc de cette explication, que nous rapportons toujours les mots « recte et inverse » aux positions respectives de deux filons, et non à celles qu'un seul et même filon peut affecter.

« Ce principe posé, soit un croisement du filon par un croiseur AB A'B'; sur le point D où l'on a rencontré le croiseur,

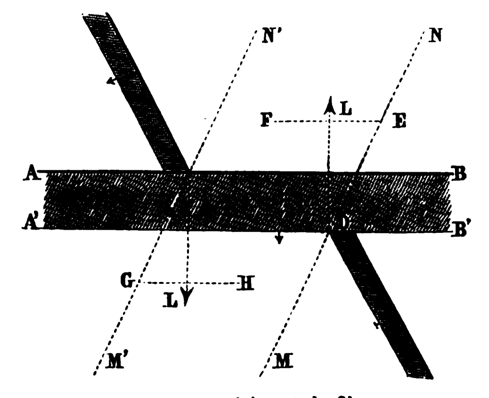


Fig. 26. — Croisement de filons.

on mène une perpendiculaire à la direction du croiseur et vers son intérieur, on trace ensuite sur le plan les lignes d'intersection des

deux filons MN M'N', lignes qui passent par les points où le croiseur est rencontré. On prolonge ces lignes suffisamment de D vers M et vers M', vers la salbande opposée, et l'on observe de quel côté la perpendiculaire s'écarte de la ligne d'intersection après avoir traversé le croiseur, c'est de ce côté que la recherche doit être dirigée. »

Cet exposé de M. Graff résume, d'une manière concise, les conditions ordinaires des rejets et les questions qui en résultent pour la conduite des travaux. Il reste toujours une inconnue ; c'est l'amplitude du rejet. Pour les filons comme pour les couches, c'est, ainsi que nous l'avons dit, l'étude géologique de la contrée et de la stratigraphie des roches constituantes du toit et du mur qui permet de la déterminer.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES, CHAMPS DE FRACTURES.

Dans les divers districts métallifères où les filons se trouvent rassemblés, ces filons ne sont pas en effet dispersés au hasard ; ils sont groupés dans certains espaces circonscrits que nous avons appelés *champs de fractures*. Ces champs de fractures sont généralement limités, soit par des roches d'une nature différente de celles qui constituent le sol, soit par les lignes des accidents de la surface.

Le champ de fracture qui renferme les filons d'Andreasberg, au Hartz, est l'exemple le plus intéressant qu'on puisse choisir. Le sol fracturé est formé d'alternances de schistes argileux, et de quelques couches de kieselschiefer. En outre, on y trouve intercalés de gros filons concordants, uniquement remplis de débris schisteux, et qui sont désignés sous la dénomination de ruschels. L'ensemble de ces roches stratifiées est accidenté par des diorites.

Si l'on jette les yeux sur la carte de ce champ de fracture (planche VI), qui représente une coupe horizontale de tout le terrain à la profondeur de 100 lachters (200 mètres), on voit que les filons appartiennent à plusieurs époques. Les plus puissants, qui portent le nom de *ruschels* et sont concordants avec les schistes argileux, forment les limites du champ de fracture sillonné par les

filons métallifères. Les deux ruschels extrêmes n'ont pas d'ailleurs une position arbitraire ; celle du nord, Neufanger-Ruschel, se trouve précisément à la séparation des grauwackes et des schistes argileux ; celle du sud, Edellenter-Ruschel, marque, sur la plus grande partie de son parcours, la séparation des schistes argileux et des roches amphiboliques (grunsteins et diorites) qui les ont soulevés. Le champ de fracture est ainsi limité par les clivages principaux du sol, au-delà desquels le terrain change de nature.

Les filons métallifères appartiennent eux-mêmes à deux époques distinctes, bien qu'ils ne présentent pas de différences appréciables dans leur remplissage. Ainsi le Samson, principal filon du district, coupe et rejette le Gnade-gottes et le Bergman-Troster.

En étudiant cette carte, on voit que la formation des ruschels, puis celle des fractures qui ont donné naissance aux filons, sont subordonnées à la sortie des grandes masses dioritiques ; on voit comment les ruschels ont souvent fait dévier les filons.

Les diorites, dont les masses principales sont antérieures aux filons, constituent cependant quelques masses postérieures.

Ces diorites ont donc été produites par des éruptions successives qui représentent une longue période ; les fractures et leur remplissage métallifère constituent, en quelque façon, un épisode subordonné de cette période d'éruptions.

Il existe des districts de filons dont l'historique est beaucoup plus compliqué : les filons des environs de Joachimstall, par exemple, qui forment un groupe intéressant dont la petite carte (planche VII, fig. 2), due aux recherches de M. Mayer, exprime les principaux traits.

Ces filons sont concentrés dans un champ de fracture voisin d'une masse de granites et de porphyres qui domine le terrain schisteux ; ils se rapportent à deux directions très-distinctes, l'une nord-sud et l'autre est-ouest.

Les filons principaux de la direction nord-sud sont : Rothegang, Schweizer-gang, Rose-Jericho, Evangelisten-gang, Hildebrand, etc. ; ceux de la direction est-ouest sont : Dorothea-morgen-gang, Seegen-gottes, Kühgang, Andreas, Jeirischer et Maurizi-gang.

Le parallélisme des filons appartenant aux deux directions est assez exactement suivi ; mais ces directions n'expriment pas réelle-

ment leur âge relatif, ainsi qu'on peut le voir par les divers cas d'intersection. Les filons est-ouest sont assez généralement les plus modernes, et cependant on peut admettre deux époques pour les filons nord-sud, l'une coupée et rejetée par les filons est-ouest, l'autre, au contraire, qui les coupe et les rejette.

Ces deux directions sont d'ailleurs accompagnées de dykes éruptifs, appartenant à des roches très-distinctes. Ainsi plusieurs filons nord-sud, tels que le Rothegang et le Schweizer, sont accompagnés de dykes porphyriques quartzifères, qui suivent la même direction et se conforment même à certaines inflexions caractéristiques de leur allure. Ces dykes et les filons métallifères ont en outre la même inclinaison.

Les filons est-ouest sont accompagnés de dykes basaltiques qui ont avec eux des relations analogues, et l'un d'eux, le Seegen-gottes, est un filon double, à la fois basaltique et métallifère.

M. Mayer cite le Rothegang comme le filon qui présente la liaison la plus intime avec les porphyres. On voit, en effet, d'après la carte qu'il en a donnée, que ce filon est accompagné par un dyke porphyrique qui court à peu près parallèlement, s'en éloigne quelquefois, et d'autres fois s'en rapproche au point de former une de ses épontes. Dans les parties les plus éloignées du porphyre, le filon est bien détaché; il n'a pas d'autre gangue que l'argile et pas d'autre minerai que le pechblende. Au contact du porphyre, cette gangue se pénètre de quartz, passe au jaspe, le filon devient adhérent, et l'on rencontre alors les divers minerais d'argent, qui sont le principal objet des recherches à Joachimstall, avec les minerais de nickel, de cobalt et de bismuth, qui caractérisent toute cette partie de l'Erzebirge. Ces relations, reproduites par plusieurs autres filons qui suivent la même direction, ont amené à conclure que ces filons et les dykes porphyriques devaient être contemporains.

Les filons est-ouest ont avec les basaltes des relations de remplissage qui semblent aussi démontrer une certaine dépendance ; les rapports qui résultent de l'allure et du groupement de quelques-uns de ces filons avec les dykes basaltiques sont, en effet, des plus significatifs.

Ces rapports sont établis par l'allure et la composition de quelques-uns des filons les plus modernes. Le Seegen-gottes, par exemple, est en partie rempli par un filon basaltique qui suit la

même marche. A la rencontre du filon Hildebrand, le basalte divisé en deux branches a été traversé, mais le filon Hildebrand est coupé et même rejeté par le Seegen-gottes ; donc le Seegen-gottes est postérieur à l'Hildebrand, postérieur lui-même au basalte. L'ensemble de ce double filon du Seegen-gottes est de même coupé et rejeté par le filon de Saint-Jean-l'Évangéliste. Donc, si dans ce champ de fracture il y a des filons antérieurs aux basaltes, il y en a aussi qui leur sont postérieurs, bien qu'ils suivent la même direction. Les filons de la seconde période sont donc subordonnés aux éruptions basaltiques.

Celui qui, de tous les champs de fracture sillonnés par des filons de diverses époques et de divers caractères, présente les faits les plus nombreux et les plus classiques, est le district de Freiberg. La carte (planche VIII), réduite d'après celle de M. de Beust, exprime les conditions du gisement et de l'allure de ces filons. On voit que Freiberg occupe à peu près le centre de ce vaste groupe de filons, qui s'étend à 8 kilomètres au nord, 11 au midi, 3 au nord-ouest, et 4 au sud-est, comprenant ainsi une surface métallifère de 125 kilomètres carrés. Plus de 900 filons ont été reconnus sur cette étendue.

Il suffit d'un examen rapide de cette carte pour y reconnaître le phénomène du groupement des filons en plusieurs catégories caractérisées par des directions parallèles. Ces catégories principales sont au nombre de trois :

1° Les filons principaux *Stehende*, dirigés sur 3 *heures* de la boussole, et développés principalement vers l'ouest du district; d'après l'opinion de M. de Beust, ces filons se prolongent probablement dans les collines de Halsbach, Conradsdorf, Falkenberg, Maundorf, etc., où ils présenteraient un champ vaste et encore peu exploré.

2° Les filons *Flache*, qui se rattachent à la direction de 12 *heures*, forment deux faisceaux principaux ou *zug* qui coupent les filons Stehende ; un de ces faisceaux court de Drei-Kreutzen à Striegis; l'autre est plus au nord, entre Freiberg et la vallée de la Mulde.

3° Une troisième direction principale comprend les filons *Spat* dirigés sur 9 *heures*, qui sont représentés presque dans toute l'étendue des filons de 3 *heures*, depuis Langenau jusqu'à Falken-

berg, mais principalement accumulés vers Halsbrück, où se trouve le Halsbrückner-Spat, le filon le plus puissant de toute la contrée. Cette direction coupe généralement les deux précédentes.

4° Enfin, quelques filons se rapportent à une quatrième direction, *Morgen,* qui marche vers 6 *heures.*

En réalité, les deux directions de 3 *heures* et de 9 *heures* comprennent tous les filons les plus importants et les plus riches de la contrée. Les mines les plus productives se trouvent dans les filons de 3 *heures*, notamment dans le quartier d'Himmelfahrt, Abraham Seegen-gottes et Herzog Auguste, etc...

Comparativement aux filons de Hartz, les filons des environs de Freiberg présentent, comme particularité importante, l'existence de plusieurs formations bien distinctes et d'époques différentes. Si l'on compare, en effet, sous le rapport de la composition, l'ensemble des filons qui se rapportent aux quatre directions citées, on reconnaîtra que ces directions sont généralement caractérisées par des différences notables.

Ainsi la direction de 3 *heures* présente, avec des gangues exclusivement quartzeuses, des galènes pauvres en argent, cristallisées ou à larges clivages. Dans la direction de 12 *heures*, les minerais sont plus riches en argent, le quartz est mélangé de spath calcaire et de sulfate de baryte. Enfin les filons de 9 *heures*, surtout du côté de Halsbrück, sont caractérisés par une grande abondance de baryte sulfatée et pa la présence du falherz qui se mêle à la galène.

On doit cependant ajouter que la distinction de l'âge des filons d'après leur direction n'a rien d'absolu dans les détails ; elle est même sujette à des exceptions tellement nettes et répétées, que les géologues de Freiberg ont préféré distinguer les filons d'après leur composition ; ces caractères offrant, à leur avis, des éléments plus certains de classification.

Herder a classé ces filons suivant les groupements des minerais et des gangues, et fait cinq divisions qui, à partir des plus anciennes, sont :

1° *Kiesige bleiformation*, galène contenant de $\frac{1}{2}$ à 6 loths d'argent, blende, arséniate de fer, pyrite de fer, pyrite cuivreuse, cuivre gris, argent antimonié sulfuré rare ; gangues quartzeuses.

Ces filons, au nombre de 217, appartiennent aux directions *Stehende* et *Morgen*.

2° *Edle bleiformation*, galène contenant 6 loths et plus, blende, pyrite de fer contenant de 1 à 3 loths, argent rouge, argent natif, antimoine sulfuré, fer olygiste, manganèse carbonaté; gangues quartzeuses, avec chaux carbonatée et sulfate de baryte. Ces filons, au nombre de 330, appartiennent aux directions *Flache, Stehende* et *Morgen*.

3° *Edle quarz formation*. Argent rouge, arséniate de fer, mispickel argentifère, argent natif, galène très-argentifère, manganèse carbonaté; gangues de quartz, chaux carbonatée, chaux fluatée. 119 filons des diverses directions appartiennent à cette classe.

4° *Barytischebleiformation*, galène pauvre; plomb phosphaté, pyrite de fer, blende brune, cuivre gris, pyrite cuivreuse, argent rouge, arsenic natif, cobalt gris, fer olygiste. Gangues de baryte sulfatée et de spath fluor. Cette classe comprend 134 filons, qui se rapportent presque tous à la direction *Spat*.

5° *Kupfer formation*, comprenant des filons à gangues de quartz souvent améthisé, avec cuivre pyriteux, pyrite de fer, cuivre carbonaté, etc.

On voit que cette classification d'Herder est établie sur des distinctions très-subtiles, puisque les quatre premières classes ne diffèrent guère que par les gangues, le titre en argent et par l'ordre suivant lequel les minerais sont énumérés, ordre qui est celui de leur importance dans les filons.

La cinquième division est arbitraire, et ne comprend que des filons font partie des catégories précédentes.

M. de Weissembach, mieux éclairé par le développement des travaux, a établi les quatre classes des filons en appuyant les distinctions sur les gangues plus que sur les minerais. Ces quatre classes, dont on trouvera facilement les rapports avec les catégories précédemment établies soit par les directions, soit par les divisions minéralogiques d'Herder sont :

1° Filons quartzeux, avec pyrite de fer, blende, galène, mispickel : contenance d'argent, médiocre.

2° Filons de braunspath (chaux carbonatée ferrifère) avec les

mêmes minerais que précédemment, mais avec un titre d'argent plus élevé.

3° Filons avec fer oxydé, fer carbonaté, spath fluor, sulfate de baryte ; généralement moins métallifères que les deux classes précédentes. Ces filons traversent quelquefois le zechstein.

4° Filons à gangues calcaires, contenant quelquefois des minerais assez riches ; ils se sont trouvés accidentellement dans les terrains jurassiques.

Ces classifications d'après la *composition* prouvent que les idées de Werner, qui avaient eu pour base exclusive les directions des filons, sont loin de pouvoir être considérées comme absolues, et qu'elles doivent être appliquées non comme des règles pratiques, mais seulement comme des probabilités. Ramenées à cette valeur, les lois qui régissent l'histoire des filons sont d'ailleurs dans les conditions de toutes les lois géologiques, et surtout de celles qui s'appliquent aux terrains ignés, avec lesquels les gîtes métallifères sont en connexion constante. Le seul fait de 900 filons existant dans un même district, rapportés à quatre directions constantes, et soumis à des lois de composition qui indiquent leur âge, est déjà bien remarquable. Il est encore hors de doute qu'il y a un ordre de succession parmi ces quatre directions ; mais, dans un terrain tourmenté par tant de causes de fracture, il s'est produit ce que nous avons précédemment signalé à Andreasberg : le terrain, sollicité à se fracturer suivant une direction déterminée, s'est en même temps fendu suivant des directions croisées, les conditions locales de résistance ayant modifié les tendances des efforts souterrains dont l'effet s'est borné dès lors à faire dominer une direction.

Les filons des environs de Chausthal occupent au Hartz un champ de fractures à 9 kilomètres de l'est à l'ouest sur 7 kilomètres du nord au sud. Cet espace, composé d'alternances de grauwackes et de schistes, est limité vers l'est par une zone de roches amphiboliques qui courent de Lehrbach à Altenau et devant laquelle les filons s'arrêtent comme devant une barrière infranchissable, ainsi que l'indique la carte qui accompagne ci-après la description du Hartz.

Ce champ de fractures est sillonné de l'est à l'ouest de filons formant six faisceaux distincts, irrégulièrement parallèles, se rami-

fiant en certains points et s'infléchissant même jusqu'à se rencontrer.

Le filon principal commence à Wildeman, passe sous Zellerfeld et se termine à 2 kilomètres environ à l'est de Clausthal, à la rencontre d'un autre filon, le Rosenbustergang. Ce second filon se prolonge à l'ouest de Clausthal par une partie renflée et très-divisée, dite Rosenhoferzug, qui est un des points les plus riches. Plus au sud, le *Silbernaalergang* commence aux environs de Grund et se perd dans le même groupe de fissures infléchies, à l'approche de la zone des amphibolites.

Au nord du filon principal de Zellerfeld se trouve d'abord un système de fissures très-rapprochées, qui ont donné naissance à trois filons distincts, puis le filon de *Bockwieser*, remarquable par sa puissance. Enfin, plus au nord, les filons de *Lauthental* et *Hannenkleer* terminent le groupe des cassures métallifères.

Ce groupe comprend ainsi six filons principaux, courant de l'est à l'ouest (direction moyenne de 8 heures), en coupant le terrain de schistes argileux et de grauwackes, dont les couches fortement inclinées se dirigent comme les masses amphiboliques du N. 45° E. au S. 45° O.

Les faits qui ressortent de cet examen sommaire de quelques districts sillonnés de filons métallifères indiquent suffisamment quelle direction on doit donner à l'étude des champs de fractures : composition du sol fracturé et influence des diverses roches sur l'allure des filons; époques diverses et successives caractérisées par des filons différents; influence des roches éruptives les plus voisines sur l'allure et la richesse des filons, etc.

DISTRIBUTION DES MINERAIS DANS LES FILONS

D'après ce que nous venons de dire sur la composition des filons, leur allure, leurs relations et leur groupement, on voit que les divers minerais se trouvent classés dans les filons distincts. Ainsi, il y a des filons dans lesquels domine l'oxyde d'étain; d'autres sont caractérisés par les divers minerais cuprifères; d'autres par la galène et la blende; d'autres par le sulfure d'antimoine; d'autres par les minerais d'argent, etc. Ces divers filons se sont succédé dans un certain ordre, et bien que, sous ce rapport, les faits ne soient

pas les mêmes dans les divers districts, il en est quelques-uns qui paraissent constants : telle est, par exemple, l'ancienneté des filons d'étain comparativement à tous les autres.

Les divers minerais qui forment, dans les filons, la partie la plus caractéristique et la plus précieuse, n'y sont pas disséminés d'une manière constante et uniforme. Il y a des parties riches, d'autres pauvres, d'autres tout à fait stériles.

On peut considérer la composition des filons suivant des coupes verticales, ou bien suivant des coupes horizontales ; en d'autres termes, suivant leur *inclinaison* ou leur *direction*. Dans le premier cas, il y a une constance assez remarquable dans les gangues et les minerais, ainsi que dans la structure; tandis que, dans le second, les caractères ne se maintiennent que pendant des intervalles variables en longueur, mais généralement peu soutenus. Ici les exemples abondent, et c'est pour cela que les exploitations sont en général très-nettement limitées en direction, tandis qu'elles s'étendent toujours en profondeur.

Les concentrations métallifères ont, dans les filons du Hartz, une position bien caractérisée. A Clausthal, par exemple, tant que les filons sont simples dans leur allure, les roches du toit et du mur dominent dans le remplissage, et il y a peu de chance d'enrichissement ; mais, lorsque les filons se divisent de manière à embrasser une grande épaisseur de terrains dans leurs ramifications complexes, les matières métallifères prennent plus d'importance. Que l'on jette les yeux sur la carte des filons : les parties ramifiées de Burgstadter et du Rosenhoferzug frapperont immédiatement par la multiplicité de leurs réseaux. Or, ces portions ramifiées, où il y a accroissement de puissance totale et dissémination des filons, sont, en même temps, les plus remarquables par la richesse en galène argentifère.

Un fait analogue se reproduit dans les filons d'Andreasberg qui sont très-sujets à se ramifier latéralement ; ces points divisés et contournés dans leur allure sont en même temps les plus riches. Dans la ramification du Samson (représentée fig. 39), et qui avait 14 ou 15 mètres en direction, et 15 ou 16 dans le sens de l'inclinaison, on a trouvé une veine d'argent rouge dont l'abatage a donné un produit de 500,000 francs.

L'étude générale des filons du Hartz a donc permis de poser ce

principe : que toutes les dispositions de fractures qui ont facilité le remplissage par l'écroulement des épontes ont été contraires au développement des minerais, et que, réciproquement, ce développement a été favorisé par toutes les circonstances qui pouvaient maintenir pendant longtemps les vides intérieurs des fractures.

Le filon de Veta-Grande, près Zacatecas, au Mexique, fournit un exemple frappant de la concentration fréquente des minerais les plus riches sur les points de la puissance maximum. Ce filon a été exploité par 21 mines sur 2,760 mètres de longueur, et sur une profondeur de 3 à 400 mètres; l'exploitation a été surtout fructueuse dans les mines de Gallega et de Cerro-di-Milanese, où le filon atteint une puissance de 8 à 12 mètres, soit par un simple renflement, soit par une bifurcation en quatre branches ; elle a été arrêtée, au contraire, en direction comme en profondeur, par des rétrécissements soutenus qui réduisaient la puissance à 0m90 à 1m20, dimensions auxquelles l'abatage cessait de donner des bénéfices.

Le filon principal de Guanaxuato, exploité sur une longueur de 12,000 mètres en direction, n'a présenté une richesse remarquable que sur environ 2,600 mètres. Sur beaucoup de points, on a observé des changements de minerais : ainsi la pyrite cuivreuse était remplacée par de la blende et de la galène, de telle sorte que le filon semblait composé de zones verticales accolées et de composition différente.

Les transformations suivant la direction résultent naturellement du mode de formation des filons ; quant aux transformations dans le sens de l'inclinaison, elles semblent devoir être attribuées à des causes différentes.

En effet, dans un grand nombre de filons on a remarqué une différence complète entre les caractères minéralogiques des parties supérieures et ceux des parties situées à une profondeur considérable. Ainsi les filons de Sainte-Marie-aux-Mines furent célèbres lors de l'exploitation des parties situées au-dessus des vallées principales ; on y trouvait de l'argent natif en masses souvent considérables; le minerai était également plus argentifère et plus facile à abattre qu'il ne l'a été ensuite lorsque les travaux devinrent plus profonds.

Les variations de ce genre ont été le plus souvent attribuées à la faculté condensatrice que devaient posséder au plus haut degré les parties supérieures d'une cassure, comparativement aux parties profondes; les émanations métallifères devaient s'y fixer de préférence, de même que dans les portions renflées ou bifurquées, la vitesse de leur courant étant ralentie et la température diminuée.

Ces variations de richesse, suivant l'inclinaison, peuvent encore résulter d'un autre ordre de faits. Ainsi, dans la plupart des filons argentifères de l'Amérique méridionale, les minerais disséminés vers les parties voisines des affleurements dans des terres ocreuses, peu résistantes, qui présentent tous les caractères des filons décomposés, dits filons pourris sont le plus souvent à l'état natif, à l'état de chlorure et de sulfure. Ces minerais, avantageux à exploiter malgré leur faible teneur, parce qu'ils sont faciles à abattre, ont reçu les noms de *colorados* au Mexique, et de *pacos* au Pérou; ils sont à peine perceptibles à l'œil, mais faciles à recueillir par l'amalgamation. En profondeur, on ne trouve plus, dans plusieurs de ces mines, que des pyrites disséminées dans des gangues dures et résistantes; ces minerais, dits *negros,* à cause de leurs couleurs foncées, sont à la fois plus coûteux à abattre, difficiles à traiter et rarement extraits avec bénéfice, sans que cependant leur titre métallique ait sensiblement diminué.

Si l'on étudie la répartition des minerais suivant les diverses sections des filons, on voit qu'ils sont disposés en veines, en veinules, en petits amas, en rognons, en grains, en paillettes et en cristaux; ces diverses formes étant d'ailleurs subordonnées au rubanement par zones doubles et symétriques, pour les filons où cette disposition est visible. Ainsi tantôt le minerai formera des veines continues suivant le plan du filon, soit presque pur ou isolé par des salbandes particulières et distinctes; tantôt il sera tout à fait disséminé dans les gangues. Les cristaux se trouvent surtout dans les parties cariées et caverneuses de la roche; ils présentent presque toujours des formes cristallines particulières dans un même filon; de telle sorte que, dans les collections, on peut souvent reconnaître la provenance de beaucoup d'échantillons. On peut dire d'ailleurs que, sous toutes ces formes, la présence du minerai tend à constituer des zones distinctes, soit qu'il existe seulement vers

les salbandes, soit qu'il se trouve rassemblé dans l'axe du filon et forme en quelque sorte un filon dans un autre.

La distribution des minerais dans les filons mérite d'autant plus d'être étudiée que, lorsqu'on parle d'un filon de galène, de cuivre gris, d'un mètre de puissance, on s'imagine généralement que la galène ou le cuivre gris ont réellement un mètre d'épaisseur. Il n'en est rien cependant, car les minerais jouent toujours un rôle très-secondaire dans les filons.

Que l'on se reporte à la figure 4 (page 24), qui représente une coupe sur une hauteur de plus de 30 mètres du filon d'Aumale en Algérie, et l'on reconnaîtra que le cuivre gris (teinté en noir) n'y est réellement que disséminé en très-faible quantité, comparativement à la baryte sulfatée ou au fer spathique. Dans la figure 2 (page 21), qui représente la disposition d'un des plus riches chantiers du Samson, dans le district d'Andreasberg, l'argent rouge n'existe qu'au centre, dans un axe de 12 à 16 centimètres d'épaisseur; encore l'arsenic y est-il en quantité dominante. La chaux carbonatée et les roches du toit et du mur, mélangées de particules métallifères, constituent les parties latérales du filon.

Quelquefois, on rencontre dans les filons de belles accumulations métallifères, de deux, trois mètres d'épaisseur; mais alors la continuité est en raison inverse de la puissance, et ces renflements sont des anomalies que les filons réguliers présentent rarement. Dans un rubanement prononcé, une continuité en direction de vingt à trente mètres, comme celle des rubans métallifères d'Holzappel, est déjà une particularité remarquable.

Lorsque les filons ont présenté aux émanations et aux actions qui les ont remplies des fractures nettes et régulières les gangues et les minerais ont pu se classer en zones rubanées et symétriques et affecter ainsi la structure caractéristique. Les filons qui ont traversé des roches compactes et solides, normalement à leur plan de stratification, sont le plus souvent dans ce cas.

Dans les filons concordants, dont les fractures et les épontes n'avaient aucune de ces conditions de solidité, le remplissage est souvent confus.

Ces distinctions ont été observées sur les divers points des filons d'Holzappel; les parties nettement fracturées présentent le plus

souvent des rubanements symétriques ; d'autres, moins régulières (fig. 27), sont rubanées, mais non symétriques ; d'autres sinueuses

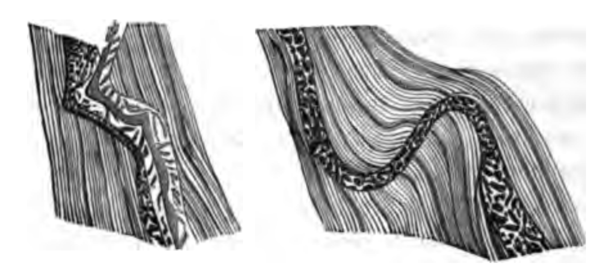


Fig. 27. Fig. 28.
Disposition des minerais dans les filons d'Holzappel.

et interstratifiées étaient remplies de minerais irrégulièrement dispersés dans les gangues mélangées de fragments schisteux (fig. 28).

Ces coupes verticales dessinées par M. Bauer, qui a suivi les phases de l'exploitation, sont complétées par la coupe (fig. 29)

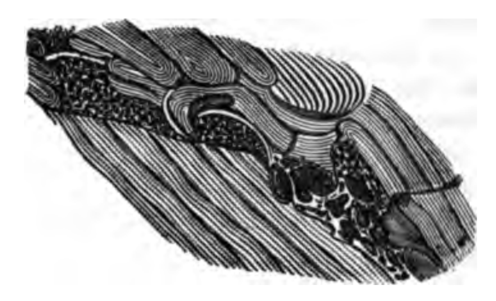


Fig. 29. — Coupe de la disposition des minerais dans une fissure irrégulière.

montrant le filon à l'état de fissure tout à fait irrégulière et les minerais sous forme de pénétrations métamorphiques. Ces pénétrations injectées dans toutes les anfractuosités du toit et du mur affectent toutes les structures d'un gîte irrégulier ; le minerai y prend les formes de dispersion et d'agglomérations sphéroïdales dans des gangues compactes et bréchiformes.

Les roches encaissantes semblent quelquefois avoir exercé sur la composition des filons une influence notable, cette influence

paraissant se rattacher à deux ordres de faits différents : les premiers purement mécaniques, les seconds chimiques.

Dans le premier cas se trouvent les exemples classiques des filons de galène du Derbyshire, traversant à la fois les calcaires métallifères, les grès et les roches trappéennes qui se sont intercalées entre les couches de manière à présenter des alternances répétées ; les filons, larges et riches dans le calcaire, sont rétrécis, pauvres et souvent étranglés dans les grès et les trapps.

A Andreasberg, on a souvent remarqué que les filons étaient plus riches et plus puissants dans les schistes argileux que dans les kieselchiefer.

Ces exemples, qu'on pourrait multiplier, résultent évidemment des dimensions relatives de la cassure dans les diverses roches traversées; l'augmentation de richesse ou sa diminution n'est que la conséquence des renflements ou des étranglements des filons. La différence relative des cassures s'explique par la différence d'élasticité des couches fracturées; mais le fait n'en conserve pas moins tout son intérêt, et, dans une contrée de composition très-variable, il pourra guider les travaux de recherche et d'exploitation et faire découvrir *à priori* les parties où les filons auront le plus de chance d'être riches et puissants.

Il est des variations qui semblent attester réellement une influence directe de la roche encaissante sur la richesse du filon. Par exemple, à Kongsberg, en Norwége, des filons minces, à gangue de spath calcaire, courent dans un terrain de gneiss et de schiste micacé amphibolique; quelques-unes des couches schisteuses sont pénétrées de cuivre pyriteux, pyrite, galène et blende; on les nomme *fahlband*. C'est seulement lorsqu'ils traversent ces fahlbandes, que les filons contiennent l'argent natif et sulfuré, cristallisé ou filiforme, accompagné de pyrites et de cuivre pyriteux; cette loi a été constatée jusqu'à 600 mètres de profondeur.

Certains filons de Saxe et de Bohême, traversant des couches de schistes et des masses de porphyres, s'enrichissent dans ces dernières roches, tandis qu'ils deviennent stériles dans le schiste, sans qu'il y ait pourtant variation de puissance. D'ordinaire, on observe diverses circonstances, telles que l'adhérence du filon à la roche qui l'enrichit, la facilité de cette roche à se pénétrer elle-même des substances métalliques, qui porteraient à croire qu'il y a eu une

affinité réelle entre elle et les émanations métallifères. Quelques filons de joachimstal semblent démontrer cette affinité dont on cite, d'ailleurs, des exemples dans la plupart des districts métallifères.

Les filons du district de Freiberg sont beaucoup moins ramifiés que ceux du Hartz. Leurs directions sont plus franches et leur allure plus régulière; aussi n'a-t-on pas eu occasion de constater des concentrations de minerais dans les parties ramifiées et dilatées, comme dans les filons de Clausthal. La distribution des minerais n'est pas pour cela plus régulière : ainsi les mines signalées il y a trente ans par M. Héron de Villefosse comme les plus productives ne sont plus aujourd'hui dans les mêmes conditions; l'exploitation s'est principalement soutenue par les produits de la mine Himmelfahrt, qui était alors de peu d'importance. Les filons de Freiberg offrent en effet des exemples de grandes variations dans leur composition. Dans ces plans métallifères qui se prolongent si loin, les gangues dominent et souvent contiennent à peine quelques traces des métaux recherchés; l'exploitation marche donc au hasard comme partout ailleurs, sans qu'on ait pu fixer jusqu'à présent aucune règle ni trouver aucune loi géologique qui puisse servir de guide pour se diriger vers les zones les plus riches.

Les concentrations, des minerais telles que celles qui sont actuellement connues à Himmelfahrt, paraissent cependant affectionner une position spéciale, celle des *croisements* de filons.

Cette concentration caractéristique des minerais dans les croisements ne peut être attribuée à un surcroît de puissance, car les deux filons ne sont pas contemporains; on voit nettement un filon croiseur et un filon croisé; par conséquent, il y avait continuité du sol traversé lorsque la concentration de minerais s'est effectuée. L'enrichissement a lieu, dans les mines d'Himmelfahrt, notamment aux croisements que subissent le Gottlober-Morgengange et l'Abraham, par des directions presque perpendiculaires. Les minerais se trouvent concentrés principalement suivant l'axe de ces croisements et appartiennent aux croiseurs. Il est donc probable que la concentration a été ici le résultat de l'influence de la roche encaissante, et que les propriétés des gangues métallifères déjà existantes l'ont déterminée, de même que les fahlbandes de Kongsberg

ont déterminé la concentration des minerais dans les seules parties des filons qui les traversent.

L'enrichissement des filons dans les croisements est un fait constaté dans le district de Freiberg; il existe non-seulement pour des filons considérés isolément, mais encore pour des faisceaux de filons, les parties les plus métallifères de la contrée étant celles où se croisent les *zugs* de direction différente.

On voit, d'après ces exemples, qu'il existe dans chaque district métallifère des faits généraux qui guident dans la recherche des parties riches des filons. A ces faits généraux, basés sur les conditions de l'allure des filons et sur la nature des roches encaissantes, on peut en ajouter beaucoup d'autres basés sur la variation des gangues et sur les relations qui existent entre certaines d'entre elles et les minerais.

Dans presque tous les districts de filons, il y a affinité de telles gangues pour tel minerai et répulsion de telles autres. Il en résulte que les gangues, telles que le quartz cristallin ou calcédonieux, la baryte sulfatée, le spath fluor, seront, dans certains cas, de précieux indices pour la recherche des minerais. D'autres fois, ce sera un autre minerai qui servira de gangue à un autre plus précieux; un fer oxydé ou carbonaté accompagnera des minerais de cuivre. Ces affinités ou ces répulsions ne sont régies par aucune règle absolue; tous les faits sont locaux, et nous nous bornerons à en citer un exemple.

Que l'on examine la carte des filons de Clausthal, planche IX. Dans tous les filons qui sont situés vers le nord, et à mesure qu'on s'éloigne dans cette direction, l'importance des gangues spathiques diminue et celle des gangues quartzeuses augmente; le sulfate de baryte devient rare; parmi les minerais, la galène se présente moins argentifère, et la proportion de blende mélangée augmente. Vers le sud, c'est au contraire la baryte sulfatée qui, parmi les gangues, prend plus d'importance; le quartz est progressivement éliminé, et, quant aux minerais, la blende disparaît tandis que la galène devient plus argentifère.

Le filon central, qui forme, en quelque sorte, l'axe du système de fractures, peut être considéré comme un terme moyen de composition; les deux extrêmes étant situés, l'un vers Lauthental, où

les gangues sont souvent quartzeuses, et où la blende est tellement abondante qu'elle élimine en certains points les galènes appauvries; l'autre au Silbernaaler, dont certaines parties sont composées presque exclusivement de baryte sulfatée avec galène très-argentifère.

Cette loi de distribution générale des gangues et des minerais est sans doute sujette à beaucoup d'exceptions locales, mais elle est frappante lorsqu'on considère l'ensemble du système. Elle indique d'ailleurs qu'il ne faut pas vouloir assujettir une même période de formation de filons à une grande unité de composition, car ces variations, exprimées sur des distances assez rapprochées, deviendront beaucoup plus tranchées lorsque les points de comparaison seront à de plus grandes distances.

Sous ce rapport, une période de génération métallifère ne peut être assimilée à une période d'éruption de roches ignées, dont l'identité est au contraire frappante sur des espaces considérables. Nous sommes autorisés à considérer les grandes émissions de roches ignées comme des phénomènes dont l'action fut rapide et uniforme dans une même contrée, tandis que les filons appartiennent, suivant toute probabilité, à des phénomènes longs et complexes. Ces phénomènes de détail ont probablement séparé les émissions diverses des périodes éruptives, comme les solfatares et les volcans actuels séparent la dernière révolution du globe de celle qui peut lui succéder un jour.

ORIGINE DES MINERAIS DANS LES FILONS

L'origine souterraine des substances métalliques, qui ont en partie rempli les filons, ressort de tous les points de vue sous lesquels on peut se placer pour la rechercher ; nous pouvons en outre la démontrer par des considérations générales.

Les substances métallifères, comme toute espèce de substance minérale constituant l'écorce du globe, doivent se rapporter nécessairement à un des deux principes générateurs : l'un agissant du centre à la surface et produisant les roches cristallines ; l'autre résultant de l'action superficielle des eaux et produisant des roches

stratifiées compactes ou terreuses. Si l'on cherche auquel de ces deux principes peuvent être rapportés les minerais et leurs gangues, on est irrésistiblement conduit, par les analogies minéralogiques, à attribuer les substances des filons au principe igné.

La texture cristalline des minerais, la structure symétrique des filons, sont des conditions contraires à toute idée d'action sédimentaire; d'autre part, on ne trouve dans les terrains stratifiés aucune substance métallique, le fer excepté; encore avons-nous vu que les principaux gîtes de minerais de fer en couches stratifiées devaient être attribués à des sources minérales et provenaient réellement d'influences qui se sont manifestées du centre à la circonférence.

Dans les terrains ignés, au contraire, il n'est pas rare de trouver des minerais disséminés, évidemment contemporains, et faisant partie intégrante des éruptions : le fer titané dans les basaltes, l'or, le platine, les minerais cuprifères et le fer oxydulé dans certains porphyres, trapps ou serpentines, sont des preuves des analogies qui existent entre le gisement des minerais et celui des roches ignées. Les volcans brûlants viennent eux-mêmes à l'appui de cette opinion; ils produisent presque tous des sublimations de fer olygiste; le chlorure de cuivre, le réalgar, furent à certaines époques très-abondants dans le cratère du Vésuve.

Si l'on cherche à coordonner ces analogies avec les formes présentées par les gîtes métallifères, on trouve encore des concordances remarquables qui confirment ces premières données. En effet, l'hypothèse de fentes préexistantes est démontrée par le seul examen des filons. Ainsi, outre qu'on les voit parcourir les terrains de composition et d'âge différents avec les détails de division conformes à cette hypothèse, séparant nettement les roches dures et compactes, se bifurquant dans les roches schisteuses, se changeant en une multitude de fissures dans les roches fendillées; outre que ces brusques solutions de continuité dans les terrains stratifiés ne sauraient admettre aucune autre explication, on a vu que, dans le cas où divers filons viennent à se croiser, l'étude des lignes de stratification des terrains encaissants et des relations des filons entre eux conduisait précisément à cette hypothèse d'une succession de fentes et de failles produites à des époques différentes.

L'origine de ces fentes et failles ne peut être attribuée qu'aux effets dynamiques de l'action expansive intérieure.

Cette supposition est confirmée par les relations qui existent entre les filons et les accidents du sol déterminés par cette action dynamique. Depuis les temps historiques, les tremblements de terre du nouveau monde ont produit de ces crevasses longitudinales que l'on peut suivre pendant plusieurs milles et dont la largeur va jusqu'à 3 et 4 mètres. Ces failles, plus ou moins remplies par des débris de leurs épontes, sont quelquefois très-profondes ; elles ont nécessité la construction des premiers ponts suspendus en cordes et lianes : ce sont de véritables fentes à filons.

Les filons représentent donc à la fois la formation de fentes et l'établissement de communications avec l'action intérieure du globe.

Werner regardait les fentes comme postérieures au dépôt des roches, et causées, soit par le retrait de la masse en se desséchant et se consolidant, soit par les soulèvements et les affaissements du sol. Il pensait, en outre, que ces fentes avaient été remplies, de haut en bas, par des dissolutions, de nature variable, qui déposaient sur les parois de ces fentes les principes métalliques, tandis que les causes mécaniques extérieures contribuaient aussi à les remplir. Il expliquait enfin la différence des matières constituantes par cette considération que, les eaux étant plus tranquilles dans ces fentes profondes qu'à la surface, les dépôts des filons devaient être purs et cristallins, et différents de ceux de la surface.

Ces idées, adoptées par l'école de Freiberg, furent admises aussi longtemps que des incertitudes existèrent sur le mode de formation des terrains. Mais, lorsque l'étude des phénomènes actuels, lorsque les études minéralogiques, permirent d'apprécier avec plus de certitude la composition de l'écorce du globe et son mode de formation, on reconnut qu'une partie des hypothèses de Werner étaient inconciliables avec les faits géognostiques. Comment supposer, en effet, que les eaux aient pu se charger de principes métalliques qui n'existaient pas à la surface ? Si ces principes existaient, comment admettre qu'ils se soient uniquement déposés dans les filons, tandis qu'on n'en voit aucune trace dans les couches calcaires quartzeuses ou argileuses qui se déposaient à la même époque et dans les mêmes contrées ?

M. Daubuisson, élève de Werner et l'un des fondateurs de la science géognostique en France, fut le premier à signaler ces anomalies et à manifester ces doutes. « Lorsque je vois, disait-il, dans une contrée de cent lieues d'étendue, composée uniquement de grès et de grauwackes, des filons de galène et de quartz bien cristallins; lorsque, dans les montagnes d'une étendue aussi grande et composée de gneiss, je trouve une multitude de filons d'argent et de spath, sans qu'il y ait le moindre indice de ces substances dans la masse des montagnes, il m'est bien difficile de concevoir que ces filons soient le produit d'une dissolution qui, couvrant toute la contrée, aurait pénétré dans les fentes et y aurait déposé les matières dont elle était chargée. N'aurait-elle donc déposé ces précipités que dans les fentes? ou bien aurait-elle déposé des masses de gneiss à la surface du sol, et du spath argentifère dans les fentes? On conçoit qu'un précipité fait dans un lieu avec plus de tranquillité puisse donner un produit plus cristallin, mais non qu'il puisse former un corps tout à fait différent : par exemple, du quartz, du feldspath et du mica dans un lieu, du plomb sulfuré et du sulfate de baryte dans un autre. »

En repoussant l'origine des filons métallifères par les actions sédimentaires, ainsi que l'a fait M. Daubuisson, on est forcément conduit à admettre qu'ils ont été produits par voie ignée, puisque ces deux modes d'origine sont les seuls pour toutes les roches.

On ne peut cependant poser en principe que les filons métallifères soient exclusivement d'origine ignée, car on y trouve souvent, et en très-grande abondance, des fragments du toit et du mur, des agrégats formés par les roches environnantes, des concrétions, dans lesquels l'action des eaux est évidente. Souvent aussi les substances métallifères n'apparaissent dans un filon que comme ciment des roches du toit et du mur ou d'autres débris fragmentaires venus d'en haut, de telle sorte que l'ensemble du filon est une espèce de brèche hétérogène à double origine. Mais les substances métallifères, les gangues à la fois cristallines et caractéristiques, ne peuvent résulter que d'une action dont le siége est placé au-dessous des couches solidifiées de l'écorce terrestre.

Le principe de l'origine souterraine des gangues spéciales et des minerais oxydés, sulfurés et carbonatés, étant démontré, on peut

chercher encore, dans les détails de structure et de composition des filons, quelles furent les circonstances et les détails de leur formation.

Si, par exemple, on étudie sous un point de vue général le mode de remplissage des filons, on sera porté à les considérer comme éruptifs en ce sens que les minéraux caractéristiques de ce remplissage ont été évidemment produits par des émanations de bas en haut. Mais on trouve, en outre, dans la nature du remplissage et dans les phénomènes de structure, la preuve que les filons résultent de phénomènes prolongés et complexes.

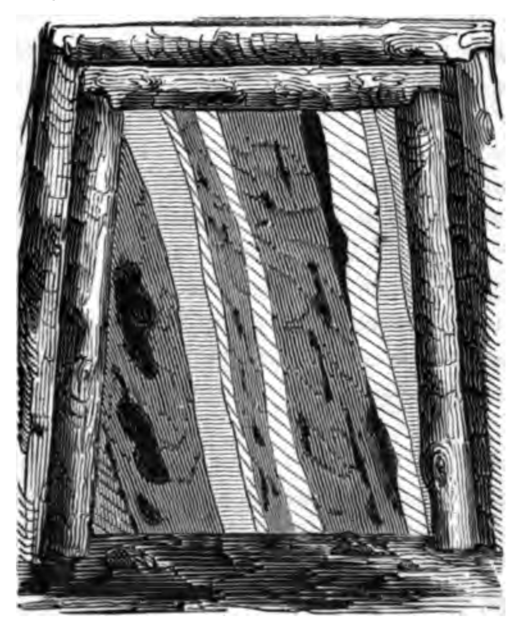


Fig. 30.

Ainsi l'intérieur des filons présente souvent des surfaces striées ou polies, des miroirs qui prouvent qu'il y a eu des mouvements et des écartements successifs. Le rubanement résulte alors de la succession des remplissages qui ne sont plus symétriques. Il y a eu des accroissements latéraux, qui non-seulement ont accolé des matières différentes les unes des autres, mais ont, en quelque sorte, feuilleté le terrain encaissant, ainsi que le prouve la figure 30, prise dans une galerie des mines de Mouzaïa.

Les rubanements indiqués se clivaient très-facilement et les surfaces de clivages étaient sillonnées de miroirs striés qui attestaient un écartement progressif des épontes pendant le remplissage.

Cette coupe de galerie, dans laquelle la baryte sulfatée est représentée par des hachures horizontales, le fer spathique par des hachures parallèles au toit et au mur, le cuivre gris par des teintes

noires, et le terrain encaissant par des hachures obliques, montre les feuillets de ce terrain jusque dans l'intérieur du filon ; ces lames de schistes ont été évidemment détachées et isolées pendant les actions successives de l'accroissement du filon.

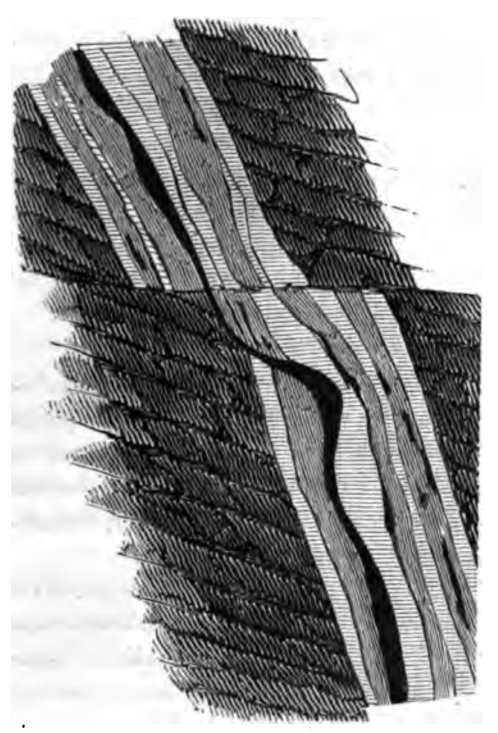


Fig. 31.

Cette proposition se trouve encore démontrée par la coupe (fig. 31), où le même filon de fer spathique et de baryte avait été incontestablement fracturé lorsque le cuivre gris est venu ajouter une nouvelle zone rubanée au filon, en suivant dans son allure les inflexions déterminées par la fracture.

Si l'on se reporte actuellement à la structure générale des éléments qui remplissent les filons, et si l'on n'oublie pas que les parties stériles et les parties riches de ces filons forment des zones ou colonnes successives de 10 à 40 mètres de continuité, et que ces diverses parties paraissent conserver leur composition en profondeur, on comprendra toute la réalité de l'assimilation des filons métallifères à des fractures passées à l'état de solfatares.

Des émanations métallifères ou autres, et même des vapeurs aqueuses, se sont ainsi frayé des routes diverses dans une direction donnée, ont produit des substances nouvelles et altéré les substances préexistantes par des actions lentes et prolongées ; intercalant, par des actions ascensionnelles, des minéraux spéciaux et rubanés aux minéraux qui pouvaient provenir d'autres actions et principalement de l'écroulement des épontes.

Sans entrer dans le détail des phénomènes et des réactions chimiques qui ont pu avoir lieu dans les filons, il est évident que, dans beaucoup de circonstances, les eaux, à l'état liquide ou à l'état de vapeur, ont dû mêler leur action à celle des agents purement ignés. Il y a beaucoup de ces exemples de génération mixte.

Cette origine a été discutée de la manière la plus complète par M. Élie de Beaumont. Sa note sur les émanations volcaniques et métallifères date de 1845, et elle réunit tous les arguments qui conduisent le géologue à considérer les minerais comme résultant de sublimations comparables à celles que produisent les volcans et les solfatares.

Ainsi, dit M. Élie de Beaumont :

« Si l'on cherche à se faire une idée de la manière dont a pu s'o-« pérer la diffusion des substances métalliques autour des points « d'éruption des roches métallifères, il est naturel de considérer ce « qui se passe dans les volcans, dont les émanations renferment « encore aujourd'hui un certain nombre de métaux : le fer, le man-« ganèse, le cobalt, le plomb, le cuivre, l'arsenic.

« Le fer, sous forme de chlorure, qui se change souvent en fer « olygiste, est au nombre des substances les plus abondantes dans « les émanations volcaniques actuelles ; le fer oxydulé est habi-« tuellement disséminé dans les laves rejetées par les volcans, et « on ne peut douter qu'il n'en existe aussi dans les laves qui peu-« vent se consolider à la suite des éruptions volcaniques dans les « cavités souterraines ; il doit nécessairement se déposer du fer à « l'état d'oxyde ou de chlorure, dans les fissures que les émana-« tions volcaniques traversent pour arriver à la surface. De là des « filons qui se rattachent, dans l'intérieur du sol, à des masses « éruptives contenant du fer.

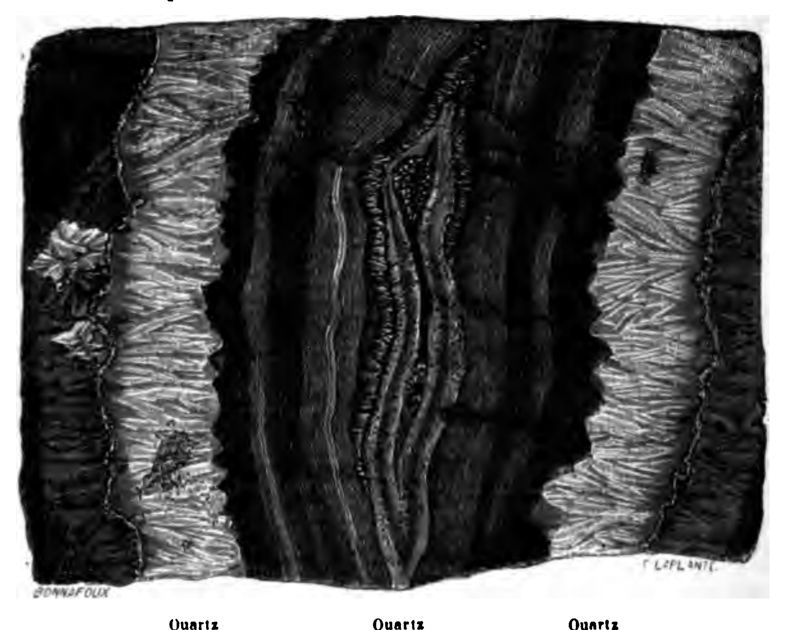
« Le cuivre étant un des métaux qui se rencontrent dans les « émanations volcaniques, on peut faire à son sujet des conjectures « analogues, en remarquant qu'en vertu de la plus facile réduction « de son oxyde, il est naturel qu'il se trouve en globules métal-« liques dans les roches éruptives d'où se sont dégagées les éma-« nations cuprifères.

« On est fondé à faire des suppositions du même genre, relati-« vement à tous les métaux dont la présence a été constatée dans « les émanations volcaniques, et à ceux qui ont été reconnus dans

« les eaux minérales, c'est-à-dire relativement à presque tous les « métaux qui se trouvent dans les filons ordinaires. »

Aujourd'hui il n'existe guère de dissidence sur le remplissage des filons par incrustations, ces incrustations ayant été produites par des vapeurs et des sublimations émanées de l'intérieur du globe. Quant à la prétention d'expliquer les détails de la formation des combinaisons par des phénomènes de laboratoire, elle est difficile à admettre en ce sens que la nature a disposé de températures, de pressions, d'actions électriques que nous pouvons difficilement comprendre.

Il est d'ailleurs évident que les actions souterraines ont dû présenter des circonstances très-variables ; telles cassures ont pu être remplies par des sublimations sèches comme celles des volcans, telles autres par des vapeurs sous une tension considérable comme celles des soffioni de la Toscane et des geysers de l'Islande, tandis que d'autres ont pu être simplement remplies d'eau et traversées par des sources minérales.



Quartz cristallin. Quartz agate. Quartz cristallin.

Fig. 32. — Section d'une agate rubanée.

Les filons contiennent souvent des concrétions siliceuses, ruba-

nées et drusiques. Ces concrétions de jaspes et d'agates sont tout à fait comparables, sous le double rapport de la composition et de la structure, aux agates d'Oberstein. La figure 32, qui représente la section d'une agate, reproduit la structure rubanée symétrique des filons.

Parmi les gîtes dans lesquels on a pénétré, on en a trouvé qui servent encore d'évents à des émanations gazeuses. Les filons irréguliers de Pereta, en Toscane, contiennent des chapelets de poches et druses tapissées par de belles cristallisations de sulfure d'antimoine; lorsqu'on exploitait ces filons, on y trouvait souvent les sulfures altérés par des courants gazeux postérieurs. Sur beaucoup de points, la surface des cristaux avait été transformée à l'état d'oxyde et d'oxysulfure, et des gaz chauds et secs émanés des terrains encaissants et des profondeurs du gîte ont encore chassé plus d'une fois les mineurs des travaux souterrains. Le phénomène des émanations souterraines semblait à peine terminé, et si l'homme de la période quaternaire avait pénétré dans ces gîtes, peut-être y aurait-il rencontré les vapeurs qui y ont déposé le sulfure d'antimoine.

Si l'origine souterraine des minerais avait encore besoin d'être démontrée, l'étude des gîtes irréguliers apporterait des arguments nouveaux à cette démonstration, par des relations géognostiques plus intimes entre les minerais et les roches éruptives.

CHAPITRE III

GITES IRRÉGULIERS

VEINES, FILONS ET AMAS DE CONTACT

Les *gîtes irréguliers* échappent, en quelque sorte, à toute définition de formes. Ils se présentent en *veines* qui ne diffèrent des filons que par l'irrégularité de leur allure, par la disposition confuse et la nature des minéraux constituants; en *amas* de toutes dimensions, couchés ou debout relativement à la stratification du terrain encaissant; en *stocwerks*, c'est-à-dire en veinules, nœuds, ou particules isolées, qui imprègnent des portions de terrains; enfin en portions de *couches* qui ont subi des altérations métamorphiques.

Cette irrégularité serait un obstacle absolu à l'étude, si la position et même l'allure de ces gîtes, toute irrégulière qu'elle est, n'était assujettie à des lois générales. Or ces gîtes sont *essentiellement liés, dans toutes les circonstances de leur gisement et de leur composition, à la nature des roches encaissantes;* les données de la science sont donc encore plus utiles à leur exploration et à leur exploitation que dans le cas des filons.

Les gîtes irréguliers sont dans des conditions précisément inverses de celles qui ont été reconnues pour les filons; ils ont des

formes indéfinies, tandis que les filons suivent, sous ce rapport, des lois très-précises : ils dépendent des roches encaissantes, tandis que les filons traversent presque indifféremment toutes les roches préexistantes, ignées ou stratifiées, et n'ont avec les roches encaissantes que des relations indirectes et accidentelles.

Les minerais qui proviennent de gîtes irréguliers se distinguent souvent, ainsi que leurs gangues, des minéraux qui remplissent les filons, par une texture moins cristalline et souvent même compacte. M. Brongniart a fait depuis longtemps cette observation: c'est au point, disait-il, que l'on peut présumer avec certitude les conditions du gisement par la seule inspection des minéraux rassemblés dans une collection.

Que l'on examine, en effet, les collections rassemblées dans les districts métallifères où dominent les filons, à Clausthal et à Freiberg ; on sera frappé de la beauté et de la généralité des cristaux. Toutes les substances qui se trouvent dans les filons, minerais et gangues, se présentent fréquemment en géodes et cristaux isolés, parfaitement déterminables ; la texture cristalline est normale, même dans les minerais envoyés aux bocards et aux fonderies ; la texture compacte est une exception. Enfin, la structure rubanée donne souvent un caractère spécial aux échantillons.

Dans les gîtes irréguliers,il en est rarement ainsi ; les minéraux du Rammelsberg, par exemple, contrastent d'une manière frappante avec ceux des filons ; et si, dans certains cas, comme à Zinnwald, les gîtes irréguliers sont cristallins, ceux d'Altenberg et surtout ceux de la chaîne métallifère de Toscane présentent comme normale la texture compacte.

On peut appliquer à ces gîtes une seconde remarque faite par M. Brongniart sur ceux de la Suède : c'est que la plupart des cristaux qui en proviennent sont noyés dans les gangues. Tels sont les cristaux d'oxyde d'étain de Zinnwald et de Schlakenwald, empâtés dans les talcs ; les cristaux de cobalt gris, de Tunaberg, les paranthines wernerites, etc., d'Arendal, empâtés dans le calcaire ; les cristaux d'yénite noyés dans l'amphibole, etc. Pour obtenir ces cristaux, il faut les dégager artificiellement de leurs gangues, et ils ont rarement alors la netteté d'angles et d'arêtes des cristaux provenant des filons.

Les *filons* et les *gîtes irréguliers* ne sont pas géographiquement séparés d'une manière absolue. Les mêmes districts métallifères présentent ordinairement les deux catégories de gîtes, mais, le plus souvent, l'une des deux prédomine.

C'est ainsi que les filons forment le trait le plus essentiel de la richesse métallifère du Hartz, de la Saxe, du Cornwall, de la Hongrie ; tandis que les gîtes irréguliers dominent dans les provinces rhénanes, la vallée de la Meuse, la Suède, et surtout dans la chaîne métallifère de la Toscane, qui, pour les gîtes irréguliers, est un type de gisement aussi complet que les districts de l'Allemagne pour les filons.

VEINES ET FILONS DE CONTACT

Les gîtes irréguliers qui se rapprochent le plus des filons sont ceux que l'on appelle *veines* ou *filons de contact*.

Le principal caractère de ces gîtes est, en effet, leur position dans les terrains métamorphiques et dans les zones de contact de ces roches avec les masses ignées qui constituent les centres de soulèvement et d'altération. Placés vers le contact des roches soulevées et soulevantes, les minerais constituent des veines ou filons irréguliers, qui suivent ordinairement les contours des plans de contact et se maintiennent dans les roches métamorphiques à une distance plus ou moins grande des roches soulevantes.

Les principaux gîtes de minerais de fer du Hartz, ceux des minerais de cuivre de la Toscane, les gîtes cinabrifères d'Almaden, en Espagne, peuvent être considérés comme types des filons de contact.

Les minerais de fer du Hartz ont une liaison évidente avec les roches amphiboliques. Les principaux gîtes sont alignés de Lerbach à Butembock et Altenau, c'est-à-dire précisément suivant les plans de contact de ces roches avec les couches relevées du terrain schisteux (voir la carte des environs de Clausthal, planche IX). Ces gîtes n'ont pas de formes déterminées, et, quoiqu'on leur ait souvent donné le nom de filons, on n'est pas arrivé à constater ce mode de gisement pour les principaux d'entre eux qui

paraissent devoir être classés parmi les gîtes irréguliers et de contact.

Les minerais de fer du Hartz constituent des veines peu continues, ordinairement dirigées suivant les plans de stratification et de contact du terrain schisteux avec les amphibolites, plans qui coïncident, et que nous pouvons appeler les plans de clivage. La coïncidence de la concentration géographique de ces veines et amas, suivant les plans de clivage et d'éruption, établit déjà d'une manière bien suffisante la liaison des minerais de fer avec les amphiboles; mais l'intimité de cette liaison est mise en évidence par l'étude du gisement. Dans beaucoup de cas, le minerai pénètre dans la masse même des roches amphiboliques, où il forme des amas réguliers; enfin, il y a passage entre la roche qui se charge de plus en plus d'oxyde de fer et le minerai proprement dit.

Au-dessus de Lerbach, dans les masses éruptives remarquées depuis longtemps pour les débris de schiste argileux et de kieselschiefer qui s'y trouvent empâtés, l'amphibole contient souvent des veines d'oxyde de fer; et, comme elle, cet oxyde de fer a, sur quelques points, une tendance assez prononcée à une structure globulaire. L'amphibole et l'oxyde de fer affectent, en ces points, des structures concentriques et paraissent ainsi coordonnées par rapport aux mêmes centres de consolidation.

Ce fait intéressant établit à la fois la contemporanéité et la liaison géologique des minerais de fer et des roches éruptives amphiboliques: tous les gîtes qui se trouvent dans les couches de contact devant résulter évidemment des mêmes influences ou d'influences analogues qui auraient suivi immédiatement la sortie des masses ignées. Ce fait établit, en outre, un rapport d'origine bien remarquable entre les minerais de fer du Hartz et ceux qui se trouvent liés par des circonstances de gisement presque identiques avec les roches trappéennes de l'île d'Elbe et des Maremmes.

Le gisement des minerais de fer, soit dans les amphibolites mêmes, soit à leur contact avec les roches schisteuses et calcaires, a été d'ailleurs signalé depuis longtemps. M. Perdonnet, dans un mémoire qui date de 1837, cite les blattersteins (roches métamorphiques amygdaloïdes au contact des grunsteins ou amphibolites) comme renfermant les principaux gîtes de fer en bancs épais, concordants et placés au contact des deux roches.

Les grunsteins, auxquels les minerais de fer se trouvent ainsi subordonnés, sont eux-mêmes très-souvent pénétrés de minerais au point de contenir 15 pour 100 et plus de fer; on trouve fréquemment, dans leur pâte, des pyrites et de l'oxydule magnétique en petits cristaux, soit en grains disséminés.

On voit, d'après ces premiers documents sur les minerais de fer du Hartz, que la véritable appréciation de ce mode de gisement n'a été retardée que par les incertitudes qui existaient sur l'origine des grunsteins.

L'hématite rouge compacte ou fibreuse, l'hématite brune, et plus rarement le fer oligiste et le fer oxydulé, constituent ces gîtes de contact; ils y sont quelquefois traversés de veines de fer spathique. Le quartz est la gangue la plus ordinaire; quelquefois on y trouve aussi de la baryte sulfatée, du spath calcaire, etc.

Le district des Vosges présente un type de ces gîtes dont les caractères sont plus significatifs encore que ceux du Hartz. Le gîte de fer oligiste de Framont est un des plus beaux exemples qu'on puisse citer des gîtes irréguliers liés aux roches éruptives, et subordonnés aux roches métamorphiques en contact.

Une masse de porphyre a soulevé autour d'elle les terrains stratifiés, et le minerai de fer, consistant en fer oxydé rouge mélangé de fer oligiste cristallin, est contenu dans l'un des plans de stratification des alternances schisteuses et calcaires, ainsi redressées presque verticalement et appliquées contre la masse ignée dont elles suivent les contours.

L'exploitation, aujourd'hui épuisée, de ce gîte a permis de suivre les détails de l'allure.

En considérant ces vastes excavations, en forme de cheminées, qui semblaient s'élancer des profondeurs du sol; en examinant ces parois tapissées de minéraux cristallins qui pénétraient les roches du toit et du mur, on se figurait assister à la formation de ces crevasses et aux phénomènes de leur remplissage.

L'imagination chercherait en vain des formes plus expressives, plus en rapport avec l'origine ignée qu'on leur attribue. L'oxyde de fer pénètre les roches, les empâte, se concrétionne dans les vides, et ses géodes cristallines reproduisent les belles dispositions des

couleurs brillantes des fers oligistes du Vésuve ou des volcans de l'Auvergne. Au contact du minerai, tout devient cristallin : les roches quartzeuses passent à des jaspes ferrugineux, les calcaires aux dolomies, et ces éléments forment des brèches où le minerai joue le rôle de ciment.

De ces premiers exemples, cités parmi les filons et gîtes de contact, il importe de faire ressortir un premier enseignement. Le contact des masses éruptives ou soulevantes avec les roches soulevées ne doit pas s'entendre du plan précis, qui sépare la roche cristalline que l'on peut supposer sortie à l'état fluide ou pâteux, de celles qui étaient à l'état solide. Le contact est représenté par une zone plus ou moins épaisse des roches altérées et métamorphiques.

Il y a, le plus souvent, un passage tellement ménagé et soudé entre une roche ignée proprement dite et les roches métamorphiques, qu'il ne serait pas possible de tracer la ligne de démarcation. Très-souvent on est amené à considérer comme appartenant aux roches éruptives des masses minérales qui ne sont que des roches altérées; les contrées trappéennes présentent, sous ce rapport, des problèmes très-complexes, car les roches altérées ont souvent même des apparences éruptives et volcaniques.

Enfin, dans certains cas, les roches éruptives n'apparaissent même pas au jour, elles sont restées dans les profondeurs du sol et ne se manifestent à la surface que par des phénomènes de perturbations et d'altérations.

Ce fait peut surtout être observé lorsque des masses éruptives suivent une direction linéaire. Les roches éruptives cessent d'être visibles en direction, et cependant les phénomènes d'altérations qui annoncent leur voisinage persistent encore sur des longueurs considérables. Nous aurons occasion de constater ce fait en décrivant le gîte du Rammelsberg au Hartz.

La chaîne métallifère de la Toscane contient de nombreux gîtes cuprifères, dans lesquels les caractères des filons de contact sont exprimés avec une grande précision.

Dans cette chaîne, dont les serpentines ont déterminé les principaux accidents, le terrain crétacé est fréquemment dans un état d'altération métamorphique très-prononcé. On a donné le nom de

gabbros à des roches rouges et verdâtres qui forment des zones de contact autour des masses serpentineuses, et c'est dans ces gabbros que se tiennent la plupart des filons cuprifères.

Ces filons sont ainsi subordonnés aux serpentines, d'abord par leur gisement dans les roches métamorphiques et suivant les plans de contact, et en second lieu par leur composition, principalement formée de serpentine friable et altérée.

C'est dans ce remplissage magnésien que sont disséminés les pyrites cuivreuses et les cuivres panachés, en amas et rognons plus ou moins abondants, plus ou moins volumineux qui constituent les mines de cuivre de la Toscane.

Il résulte des formes irrégulières de ces filons que leur puissance, souvent presque nulle aux affleurements (20 à 30 centimètres, par exemple), se renfle rapidement en profondeur, dépasse plusieurs mètres, et atteint quelquefois une épaisseur totale de 15 mètres. On peut, en effet, les considérer comme des masses lenticulaires ou amygdalines, qui semblent avoir été insérées suivant les contacts ondulés des roches éruptives et des roches métamorphiques.

La coupe figure 32, faite dans la partie supérieure du gîte célèbre de Monte-Catini, peut donner idée de sa forme.

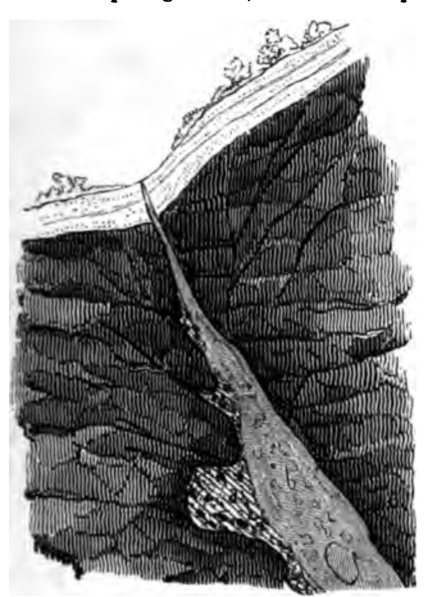


Fig. 32. — Coupe verticale de l'affleurement du filon de Monte-Catini.

On remarque d'abord la disposition en forme de coin renversé qui constitue le caractère le plus saillant de cette coupe.

Le gîte affleure, en effet, à la surface, sous forme d'une zone très-étroite qui s'élargit rapidement en profondeur. A peine a-t-on pénétré dans cette profondeur, que l'on a remarqué une loi intéressante de distribution du minerai.

Le toit est régulier dans sa forme et son inclinaison; mais le mur présente des

anfractuosités multipliées, et c'est dans ces anfractuosités que se trouvent les principales accumulations de cuivre pyriteux et panaché.

Ainsi le minerai *(a)* (fig. 32) existe principalement vers le mur du filon, et le plus souvent il est rassemblé dans ses anfractuosités de manière à donner lieu à des concentrations remarquables. L'épaisseur principale du filon *(b)* est remplie de détritus des épontes.

Il arrive quelquefois, par un changement subit dans l'allure des filons, généralement inclinés à 45 degrés, mais très-onduleux, que le toit devient le mur et réciproquement. Cette disposition est indiquée par la coupe figure 33, dans laquelle le minerai *(a)* se trouve indiqué vers le mur dans la partie supérieure, devenu le toit dans la partie inférieure du filon.



Fig. 33. — Coupe verticale en profondeur, en travers du filon de Monte-Catini.

Cette figure met en évidence l'allure variable du filon incliné dans un sens anomal ; mais, par une inflexion inverse, il ne tarde pas à reprendre le régime ordinaire de son inclinaison.

Les concentrations de minerai atteignent en certains points des dimensions considérables ; elles prennent alors la forme de masses lenticulaires dont les surfaces ondulées font varier l'épaisseur de 0m 10 à 2m 20, et dont la direction, soutenue sans aucune interruption sur une longueur de 15 à 20 mètres en direction, atteint un développement encore supérieur, suivant l'inclinaison.

L'expérience de l'exploitation a indiqué comme règles :

1° Que le minerai allait toujours en augmentant de proportion à mesure que les travaux se sont approfondis : les rognons devenant plus fréquents et plus gros, les concentrations plus importantes, et la nature même du minerai plus riche ;

2° Que les croisements ou plutôt les bifurcations du filon principal étaient généralement les points les plus riches.

Dans le voisinage des grandes masses de minerai, la serpentine

friable, qui constitue le remplissage du filon, est aussi imprégnée de particules de minerai.

L'allure générale du filon en direction est de l'est à l'ouest, mais elle est soumise à des courbes fréquentes. La coupe figure 43, faite *horizontalement*, en un point de son développement, met en évidence plusieurs des conditions précitées de bifurcation, de renflement et de distribution du minerai accumulé sur les parois, surtout vers les points où il existe des ramifications.



Fig. 34.—Coupe horizontale d'une partie du filon de Monte-Catini.

Si l'on cherche à déduire quelques conclusions théoriques des faits qui viennent d'être exposés, on est conduit à considérer le filon de Monte-Catini comme une fracture produite dans les gabbros, et probablement en relation avec les masses serpentineuses qui doivent exister dans les profondeurs du sol. Cette fracture a été remplie de fragments et de détritus appartenant aux serpentines et aux gabbros, et, suivant toute probabilité, les minerais postérieurs aux serpentines proviennent d'émanations qui ont eu lieu à la suite des éruptions, à travers les *évents* ainsi préparés. L'effet des émanations métallifères a été de concentrer des masses de minerais, principalement suivant les plans du toit et du mur, et de pénétrer les serpentines fraîbles de particules qui, obéissant aux lois de l'affinité, se sont réunies et accumulées, sur certains points, en noyaux globuliformes et lenticulaires.

Ce gîte est un exemple des grandes accumulations métallifères, dont les affleurements sont presque nuls, et qui sont en quelque sorte fermées à la surface.

Les gîtes cuprifères qui se rapportent à ce type sont très-fréquents dans la chaîne métallifère de la Toscane, on en a exploité un assez grand nombre ; mais leur allure en *chapelet* et la dissémination variable du minerai dans les gangues magnésiennes en rend la recherche assez difficile.

La mine du Terricio a présenté, dans un filon de nature analogue à celui de Monte-Catini, des blocs de dimensions considérables, mais sans qu'on y ait trouvé assez de suite et de régularité pour y établir une exploitation.



Fig. 35. — Coupe prise dans une galerie, suivant le filon du Terricio.

La coupe ci-dessus, fig. 35, qui représente le fond d'une galerie,

exprime bien les circonstances du gisement du filon vers le contact des gabbros et de l'alberèse (calcaire à nummulites) stratifié; elle met en évidence l'isolement d'un bloc de cuivre pyriteux au milieu des argiles stéatiteuses qui remplissaient le filon.

D'après les caractères des gîtes de minerais de fer et de cuivre que nous venons de décrire, on voit que les gîtes de contact consistent en filons puissants et irréguliers, qui paraissent principalement subordonnés à certaines roches éruptives, feldspathiques ou trappéennes de la période porphyrique.

Dans certains cas, les relations de position géognostique des filons de contact restent incertaines et éloignées des roches éruptives auxquelles ils se rattachent : ce dont le gîte de Rammelsberg, au Hartz, nous fournira un exemple.

Le Rammelsberg est une montagne haute de 350 mètres, composée de schistes argileux de transition, qui domine la ville de Goslar. Dans ces schistes, et suivant leur plan de stratification, se trouve contenu un gîte puissant de minerai qui affleure vers le tiers de la hauteur du Rammelsberg, ainsi que l'indique la figure 36.



Fig. 36. — Coupe transversale du Rammelsberg.

La puissance du gîte va jusqu'à 50 mètres, tandis que sa plus grande longueur en direction n'a été que de 600 mètres. Ce gîte s'amincit, suivant sa direction, de manière à présenter en coupe horizontale une forme lenticulaire; il se perd dans les plans de stratification du terrain schisteux. Cette longueur de direction

diminue en profondeur, ainsi que la puissance du gîte : à 260 mètres de profondeur, la direction n'est plus que de 250 mètres, et la puissance reste au-dessous de 10 mètres.

Le gîte du Rammelsberg n'est pas absolument concordant avec la stratification des couches. Vers la profondeur de 120 mètres, il y a une bifurcation dite branche du toit *(b)*, qui coupe nettement cette stratification, l'inclinaison du mur de cette branche n'étant plus que de 24°, tandis que l'inclinaison générale du gîte *(a, c)* et des thonschiefer est de 50 à 60°. L'ensemble du terrain est très-fissuré, et l'on voit en plusieurs points se détacher du gîte des petites veines de minerai qui traversent le terrain encaissant suivant une direction presque perpendiculaire à celle de la masse principale. Enfin, la puissance diminue graduellement à mesure que l'on approfondit, et l'opinion générale est que ce gîte a la forme d'un amas qui, dans le sens de la profondeur, doit se terminer en coin, comme cela a lieu dans le sens de la direction.

Ce gîte n'est pas moins spécial par sa composition que par sa forme ; il est entièrement composé de minerais très-compactes et massifs, presque sans mélange d'aucune des gangues qui accompagnent ordinairement les substances métallifères.

Ces minerais sont : 1° une pyrite grise compacte, composée d'un mélange intime de galène, pyrite de fer, pyrite cuivreuse et blende ; 2° une pyrite de fer, jaune, compacte, contenant en mélange intime 18 à 20 pour 100 de pyrite cuivreuse.

La mine grise plombifère se trouve principalement au mur et du côté de l'ouest, tandis que la mine jaune cuprifère domine au toit et du côté de l'est.

Vers le toit et le mur, les minerais empâtent des fragments de thonschiefer, et donnent naissance à une espèce de brèche à noyaux de schiste argileux devenu dur et compacte, avec ciment pyriteux. La partie supérieure de la montagne est sur plusieurs points pénétrée de pyrites.

Quelquefois on trouve dans l'intérieur du gîte des fragments des schistes encaissants ; ils sont durcis, imprégnés de quartz et entrecoupés par une multitude de petites veines métallifères. Il n'existe pas d'autres gangues que ces débris, si ce n'est, accidentellement, un peu de quartz et de baryte sulfatée.

On remarque d'ailleurs que les variations de composition des

minerais déterminent toujours des lignes parallèles au toit et au mur du gîte. Ces variations, produites par le contact ou le mélange de quartz ou de débris, ont même souvent lieu d'une manière assez nette pour déterminer une structure rubanée assez prononcée. Enfin, quelques fissures sillonnent le gîte du toit au mur, et renferment des minéraux cristallins, tels que les pyrites elles-mêmes, le cuivre natif, le quartz, la baryte sulfatée, le gypse et le calcaire; ces fissures s'arrêtent nettement au toit et au mur.

Le gîte du Rammelsberg, si spécial par ses caractères minéralogiques, par ses formes, et jusque par sa situation sur les limites géographiques du Hartz, ne se rattache, d'une manière évidente, à aucune roche éruptive. Si cependant on examine la coupe intéressante que M. Hausmann a donnée à travers le Westberg, le Nordberg, le Steinberg et le Rammelsberg, on voit que les trois premiers points culminants sont déterminés par la sortie des masses amphiboliques qui ont suivi les plans redressés du terrain schisteux, et qu'au Rammelsberg les minerais qui occupent dans le terrain une position analogue à celle des masses éruptives dans les autres montagnes du pays ne paraissent en quelque sorte qu'un terme différent de l'influence des phénomènes ignés sur ces terrains redressés. Ce gîte est donc situé sur le prolongement linéaire des éruptions trappéennes, et peut être, par conséquent, considéré comme leur étant subordonné.

Parmi les filons de contact les plus célèbres, nous devons encore citer ceux dans lesquels sont ouvertes les célèbres mines de mercure d'Almaden, en Espagne.

Le gîte d'Almaden se compose de trois *filons-couches*, parallèles, placés en quelque sorte côte à côte, et concordants avec la stratification onduleuse et inclinée des grès et des schistes siluriens qui les enclavent. Ils sont en même temps concordants avec le plan de contact d'une roche métamorphique, dite *Fraylesca*, qui forme une zone entre le terrain stratifié encaissant les filons, et les porphyres dioritiques.

Les trois filons, de 6 à 12 mètres de puissance, suivent les alternances stratifiées des grès et des schistes. Ces alternances ondulent dans le sens vertical comme dans le sens horizontal; de telle sorte que les coupes horizontales faites par les neuf étages d'exploi-

tation donnent toujours des dispositions analogues à celles qui sont indiquées par la figure 37, mais dans lesquelles les écartements des

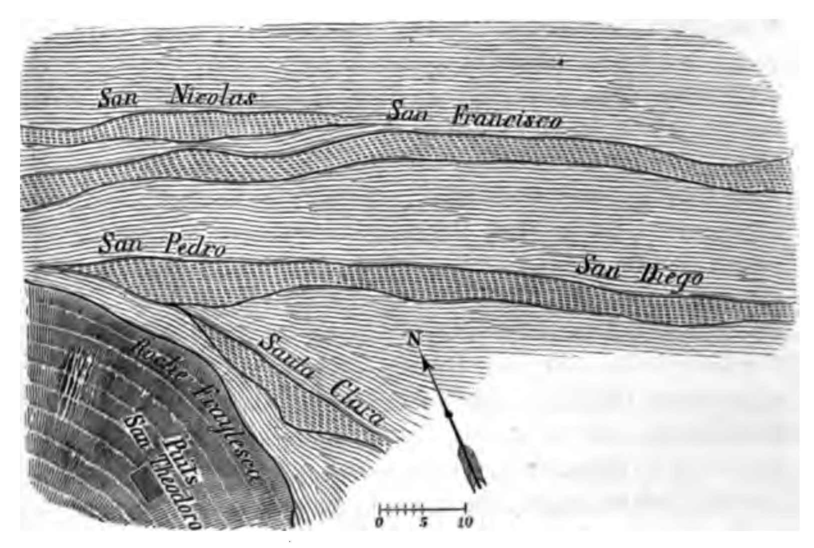


Fig. 37. — Coupe horizontale du gîte d'Almaden à la profondeur de 200 mètres.

filons et leur puissance sont sujets à des variations plus ou moins grandes.

Les fossiles siluriens se trouvent dans des grès un peu supérieurs au faisceau des couches cinabrifères, et l'ensemble s'appuie sur la roche dite *Fraylesca*. Cette roche, dans laquelle est percé le puits principal, est une grauwacke altérée, solide, et dans laquelle on reconnaît souvent les éléments arénacés ; son état métamorphique résulte évidemment du voisinage des masses dioritiques sur lesquelles elle repose, et qui sont visibles à plusieurs kilomètres de la mine.

Le cinabre, sublimé suivant le plan des couches du terrain dont l'inclinaison moyenne est de 80 degrés, s'est intercalé dans les grès, et les a souvent imbibés à tel point, qu'on peut se procurer des échantillons plats, disposés dans le sens de la stratification, dont une face est à l'état de cinabre pur et cristallin, l'autre face étant à l'état de grès à peine coloré, tandis que le milieu offre un passage entre ces deux compositions différentes.

Ces caractères de filons-couches, liés aux porphyres, n'appartiennent pas exclusivement, en Espagne, au gîte d'Almaden. Beaucoup des filons de la Sierra de Los-Santos en reproduisent les conditions principales; il en existe aussi des exemples dans les environs de Linarès, de Guadalcanal, etc.

Les filons de fer spathique qui caractérisent certains pays de montagne comme le pays de Siegen (Prusse rhénane), ou le massif du Canigou (Pyrénées), ont beaucoup d'analogies avec le Rammelsberg.

L'exemple du Stahlberg est le plus célèbre que nous puissions choisir pour type.

Le gîte de Stahlberg est une masse de fer spathique connue sur une longueur en direction de 150 mètres. Dans sa plus grande épaisseur, ce gîte présente un amas continu et presque pur de fer spathique, ayant 15 à 20 mètres de puissance; le toit et le mur sont bien détachés par des salbandes d'argile, de manière à donner au gîte l'apparence d'un filon.

Plus loin cette masse se divise en trois branches de 2 à 6 mètres d'épaisseur qui se soudent à la grauwacke et s'y perdent en s'amincissant peu à peu. L'inclinaison de ces branches, dites branche du toit, branche du mur, et branche du milieu, est vers l'ouest, c'est-à-dire en sens inverse de celle de la masse principale qui plonge à l'est. A sa naissance du côté du sud, le gîte est, au contraire, coupé très-nettement par une faille stérile au-delà de laquelle on a vainement cherché sa continuation.

La planche VII, figure 1, exprime d'une manière précise les diverses conditions de forme et de gisement que nous venons d'indiquer : c'est une coupe horizontale passant par l'étage le mieux défini par les travaux.

L'allure de ce gîte, dans sa partie régulière, l'avait d'abord fait regarder comme un filon puissant, dont on devait retrouver la suite au-delà de la faille considérée comme postérieure; mais les recherches inutiles qui ont été faites dans ce but, la manière dont le gîte, coupant d'abord la stratification du terrain schisteux, s'y conforme ensuite en s'y ramifiant, doivent modifier cette opinion. Le gîte du Stahlberg, connu maintenant sur une hauteur plus grande

que sa direction, n'est, en réalité, qu'une de ces colonnes montantes de fond dont les gîtes irréguliers présentent de si fréquents exemples.

FILONS ET AMAS ÉRUPTIFS

Nous n'avons vu, jusqu'à présent, les gîtes irréguliers apparaître que comme conséquence subordonnée des roches ignées. Nous pourrions multiplier les exemples déjà cités sans ajouter aux traits généraux des phénomènes.

Ainsi les gîtes liés au métamorphisme des granites comprennent les dix-neuf vingtièmes de ceux de la Scandinavie. Les célèbres amas d'Arendal, qui fournissent des minéraux si variés; ceux d'Uto, de Dannemora, de Gellivara; celui de Bastnaës, connu par la cérite et la gadolinite, sont tous subordonnés au gneiss. La plupart des gîtes de cette classe ne sont pas, d'ailleurs, isolés des roches éruptives. Les syénites quelquefois zirconiennes, les granites porphyroïdes et les pegmatites existent souvent dans leur voisinage et avec des positions de liaison géognostique qui ont été précisées par les observations de MM. Daubrée et Durocher.

Dans plusieurs cas, les roches amphiboliques de la Suède ont, avec les minerais, des rapports encore plus intimes, surtout avec le fer oxydulé.

Le Taberg est un des premiers exemples qui aient été cités de minerais évidemment *éruptifs;* l'amphibole à l'état de grunstein cristallin y forme une protubérance au milieu des gneiss, et cette amphibole contient une quantité considérable de fer oxydulé, rassemblé en veines ou disséminé dans la masse.

Sur d'autres points, on a trouvé le fer oxydulé, en association granitoïde avec le feldspath labrador. Le fer oxydulé cristallin est disséminé dans ces masses labradoriques, comme le mica dans les granites; sur quelques points, il est en proportion telle que la masse peut être exploitée comme minerai. A Dannemora, on l'a surnommée *granite de fer.*

Nous pouvons appuyer le principe de l'existence de minerais

éruptifs sur quelques autres exemples. Ainsi, les trapps de Kewena-Point, sur les bords méridionaux du lac Supérieur, et, sur quelques points, les trapps du Palatinat peuvent être considérés comme renfermant du cuivre natif. Si les roches cuprifères ne sont pas exactement les trapps-laves sortis à l'état fluide, du moins ce sont sur plusieurs points des roches trappéennes adhérentes aux masses ignées, dont l'existence se confond intimement avec le fait de leur éruption.

Le trapp métallifère du lac Supérieur contient des veines de datolithe avec du cuivre métallique en écailles, de la prehnite qui est dans le même cas, enfin de l'analcime, de la laumonite et du spath calcaire. Ces minéraux accidentels du trapp sont d'autant plus remarquables, que nous avons eu déjà occasion de les citer dans les diorites d'Andreasberg, au Hartz.

Le platine natif a été trouvé dans un trapp de Choco, au Pérou. On l'a également rencontré dans les diorites de l'Oural avec les mêmes métaux annexes, tels que l'iridium, l'osmium, le palladium, etc., ce qui semblerait indiquer l'existence de métaux natifs dans l'intérieur du globe.

Nulle part les relations du contact des gîtes métallifères avec les roches éruptives ne nous ont paru plus nettement exprimées que dans certaines parties de l'Italie.

L'île d'Elbe, célèbre de tout temps par ses mines de fer, comprend deux groupes de terrains bien distincts. Le Monte-Campana, centre de la partie occidentale, est un groupe conique de montagnes composées presque entièrement de roches feldspathiques qui ont traversé les terrains sédimentaires. On n'a pu encore observer aucune liaison entre ces roches granitiques et porphyriques et les gîtes métallifères ; tout le groupe du Monte-Campana paraît stérile en minerais.

Les gîtes métallifères de l'île d'Elbe sont tous concentrés avec les serpentines dans la partie orientale. Les roches sédimentaires de cette partie de l'île sont métamorphiques ; mais le métamorphisme y affecte un caractère particulier, remarquable par la fréquence du gabbro-rosso et par les mélanges des diverses roches avec les principes serpentineux, mélanges qui, avec les calcaires, constituent des marbres analogues aux marbres Campan des Py-

rénées, et avec les roches argileuses des gabbros, verts ou rougeâtres, à structure glanduleuse.

La concordance géographique des serpentines et des gîtes métallifères résulte d'ailleurs d'une concordance géologique encore plus prononcée.

Le puissant filon de fer oligiste exploité près de Rio est compris entre les couches schisteuses relevées sur les flancs des montagnes de Sainte-Catherine (planche X) ; or, tout ce groupe est composé de masses serpentineuses, de telle sorte que ce gîte puissant peut être considéré comme un gîte de contact. La nature essentiellement cristalline des minerais, leur enchevêtrement dans les diverses couches métamorphisées du terrain encaissant, éveillent l'idée de sublimations métallifères prolongées à travers ces couches, et l'étude des détails démontre d'ailleurs que ces sublimations ont dû avoir lieu sous l'influence d'une température élevée et d'une pression considérable.

En effet, les gangues varient avec les roches en contact : elles sont de quartz cristallin dans les schistes quartzeux ; dans les couches calcaires, elles sont composées d'amphibole et d'yénite. Les roches encaissantes elles-mêmes ont donc évidemment fourni une partie des éléments qui forment les gangues ; or, ces déplacements moléculaires, l'état cristallin des couches dont l'âge est jurassique ou crétacé, constituent un ensemble de phénomènes qui n'a pu se produire que sous une influence ignée très-énergique.

L'amas de fer oxydulé et d'hématite du mont Calamita ne laisse aucun doute à cet égard. Cet amas, bien plus puissant que celui de Rio, est enclavé dans une des principales montagnes de la même partie de l'île. La montagne de Calamita a été produite par le soulèvement des roches stratifiées dont la charnière de rotation est la vallée qui sépare Porto-Longone de Capoliveri ; de telle sorte qu'elle présente du côté de la mer la coupe des couches soulevées. Au cap Calamita, qui forme la saillie la plus avancée, le gîte affecte un caractère décisif exprimé par la vue ci-jointe (planche XI).

La masse principale est composée de fer oxydulé et d'hématite, tout le couronnement des escarpements présente une série de calcaires et de schistes cristallins stratifiés. Au contact du minerai et

des roches stratifiées, on remarque surtout une couche de dolomie blanche, grenue, dont les caractères tranchés expriment de la manière la plus complète les perturbations de la stratification. Cette couche, courbée en voûte, forme un immense arceau de plus de cent mètres de hauteur.

La disposition du terrain ne permet pas de douter que les minerais de fer n'aient réellement joué le rôle de roches soulevantes, et que les faits multipliés de métamorphisme que présentent les roches stratifiées ne soient également dus aux phénomènes d'émanations qui ont accompagné leur sortie. Ainsi la couche la plus apparente, et qui contraste le mieux avec les roches soulevantes, est précisément la couche calcaire qui est en contact avec elles et supporte les couches schisteuses qui forment le haut de l'escarpement. Cette couche calcaire est changée, sur presque tous les points de son développement, en dolomie saccharoïde, compacte ou grenue : accidentellement, on peut y remarquer, dans les fissures, le fer oxydulé à l'état cristallin et des infiltrations cuivreuses qui la colorent en vert ; enfin les contacts de cette roche soulevée et de la masse ferrugineuse soulevante présentent des magmas d'amphibole et d'yénite produits par des réactions mutuelles.

Si l'on étudie la composition de cet amas, enfoncé comme un coin dans les strates calcaires et schisteux, et révélant, sur tout son pourtour, des phénomènes détaillés de fracture et de métamorphisme, on voit que toute la masse centrale est composée de fer oxydulé, très-compacte et très-dur. En quelques points ce fer oxydulé, mélangé d'hématite brune, forme des magmas, de véritables brèches avec fragments anguleux des roches encaissantes brisées et altérées. D'autres fois l'existence de puissantes masses calcaires ou schisteuses dissoutes dans le minerai s'annonce par des zones d'amphibole, d'yénite et de silice qui déterminent sur ces points des géodes tapissées de cristaux et une disposition souvent amygdaline.

Il faut toute l'intensité et toute l'évidence de ces caractères pour faire admettre que les masses métallifères aient pu sortir ainsi, presque à la manière des roches ignées, avec une puissance métamorphique aussi grande ; mais ce fait, une fois constaté, donne l'explication d'une foule de caractères des gîtes de minerais. Ainsi, près du cap Calamita, le rocher de Punta-Rossa est une colonne

éruptive de fer à divers degrés d'oxydation, éruption qui a eu lieu à la manière de certains dykes volcaniques. Autour de cette masse ferrugineuse les schistes présentent de nouveaux phénomènes de métamorphisme ; la chaux sulfatée, le quartz résinite, etc., montrent que ces phénomènes doivent varier à chaque pas, non-seulement d'après la nature des matières éruptives, mais plus encore d'après la composition des roches traversées.

Les gîtes de la chaîne métallifère de la Toscane fournissent des exemples non moins caractéristiques.

Le Campigliese contient des gîtes que l'on peut appeler des filons éruptifs. Cette contrée est parcourue par de nombreux affleurements qui sillonnent les marbres jurassiques et les calcaires ou schistes crétacés. La plupart de ces affleurements suivent la direction de l'arête culminante du Monte-Calvi, autour duquel ils sont principalement groupés ; mais, au lieu d'être continus comme dans les véritables filons, ils sont très-interrompus, comme si ces matières n'avaient pu arriver jusqu'à la surface du sol qu'en certains endroits de leur direction. C'est qu'en effet ce ne sont pas des filons-fentes, mais de véritables dykes métallifères sortis à la manière des roches trappéennes, à travers le terrain disloqué.

Sur les points nombreux où ces dykes ont été ouverts par des travaux d'exploitation, on a reconnu l'allure la plus irrégulière. Ils n'ont ni toit ni mur définis, mais ils s'enchevêtrent dans les marbres jurassiques ou les schistes crétacés qu'ils traversent, en les pénétrant et les métamorphisant de manière à en rendre la composition mixte.

Les gangues de ces dykes sont des hématites brunes manganésifères, compactes ou terreuses, de l'yénite, et surtout des amphiboles vertes ou jaunâtres, à base de magnésie et de chaux, dont les grandes aiguilles, rayonnant du centre à la circonférence, produisent des effets de groupement radié très-remarquables. Les matières métallifères : cuivre pyriteux, blende ou galène, occupent souvent le centre de ces rognons rayonnés ou sont disposées suivant des zones concentriques, de telle sorte que le minerai est bien évidemment contemporain de la gangue.

La planche XII représente une exploitation à ciel ouvert qui a été pratiquée dans un de ces filons. Elle exprime à la fois la struc-

ture en grand de la masse métallifère, enchevêtrée dans le calcaire, et sa structure de détail, globuleuse et radiée. Les parties qui n'affectent point cette structure radiée sont remplies soit par des amphiboles à petites aiguilles confusément groupées et imprégnées de minerai, soit par des hématites compactes ou terreuses, soit enfin par le calcaire interposé.

Tous les filons du Campigliese affectent des caractères analogues, qui peuvent être constatés sur beaucoup de points où des excavations ont été ouvertes ; seulement, les minerais y varient beaucoup de nature. La galène, la blende, le cuivre pyriteux, le fer sulfuré, se substituent souvent les uns aux autres, de manière à rendre toute appréciation de la valeur de ces filons très-incertaine, en dehors des points mêmes où l'on opère. Partout ces matières métallifères se montrent incontestablement contemporaines des gangues où elles sont disséminées, et l'ensemble de ces gîtes constitue de véritables dykes sortis à travers les terrains stratifiés qu'ils coupent, suivant des directions déterminées, par des éruptions continues, mais assez rapprochées les unes des autres pour que les directions soient faciles à suivre. Ces directions sont parallèles entre elles et parallèles aux lignes caractéristiques de la configuration du sol, c'est-à-dire à la direction des crêtes culminantes et du littoral. Enfin les dykes métallifères ont divisé et métamorphisé les terrains encaissants, de manière à prouver qu'ils ont été formés de bas en haut et sous la double influence de la chaleur et de la pression.

Les gîtes éruptifs de la Toscane nous donneront occasion d'étudier plusieurs faits intéressants relatifs, les uns aux *affleurements*, les autres à la *structure* des gîtes irréguliers.

Les affleurements des gîtes éruptifs ont naturellement une allure et des proportions qui sont en rapport avec leurs formes souterraines et leur puissance ; mais ce qui les distingue d'une manière toute particulière, c'est que ces affleurements se manifestent souvent par des perturbations spéciales dans les terrains traversés.

Ainsi un de ces dykes d'amphibole et d'yénite cuprifère affleure au Temperino, au-dessous d'un escarpement de calcaires soulevés évidemment par sa sortie au jour. La planche XIII, qui représente cet affleurement, met le phénomène du soulèvement en évidence : les marbres de Carrare et les calcaires roses schisteux qui leur sont

superposés en stratification discordante ont été évidemment soulevés par le mouvement du sol qui a ouvert les voies au dyke cuprifère.

Ce phénomène d'affleurement du Temperino fait partie lui-même d'une série d'affleurements et de travaux anciens qui, sur le versant occidental du Monte-Calvi, marquent le parcours souterrain de deux dykes éruptifs parallèles.

Ces dykes éruptifs ne sont pas continus, ils sont formés par une série d'affleurements de forme et de composition analogues au gîte de la Cava del Piombo, représenté planche XII. Un grand nombre de ces affleurements ont été l'objet de travaux d'exploration ou d'exploitation ; mais un seul paraît contenir assez de minerai pour être avantageux , c'est celui de Temperino, ouvert jusqu'à 60 et 80 mètres de profondeur, par d'immenses excavations dont les principales datent de l'époque romaine.

Ces vastes excavations permettent de constater que les minerais et les gangues éruptives qui les contiennent sont bien réellement contemporains.

Nous avons précédemment indiqué la structure la plus ordinaire de la pyrite cuivreuse et de l'amphibole disposées en zones concentriques, de telle sorte que ces deux substances ont évidemment cristallisé ensemble. La pyrite forme aussi dans l'yénite des zones parallèles tellement fondues dans la roche, qu'on ne peut établir aucune distinction d'origine entre les minerais et leur gangue.

La chaîne de l'Erzgebirge, en Saxe, qui nous a fourni des exemples nombreux de filons, contient des gîtes dont le caractère est encore plus nettement éruptif, notamment les gîtes stannifères de Zinnwald et d'Altenberg.

A Zinnwald, la roche qui contient l'oxyde d'étain est un greisen (quartz et mica) à gros éléments, qui forme une masse arrondie au milieu de porphyres quartzifères, et se soude même avec eux par des passages. Ce greisen est classé par les géologues de Freiberg parmi les granites, et regardé comme plus ancien que les porphyres: il contient, comme substances accidentelles, le wolfram et l'oxyde d'étain.

Ce qui frappe tout d'abord dans cette roche, c'est son état cristallin ; il n'y a point de pâte, les grains de quartz sont miroitants,

purs, isolés, et le mica, verdâtre, pailleteux, souvent groupé en cristaux entrecroisés, se détache parfaitement du quartz, le wolfram, disséminé dans cette roche, tranche par sa couleur noire et ses clivages. Souvent ces divers éléments se réunissent deux à deux, ou même tous les trois, pour former les géodes cristallines, dont les fragments sont bien connus dans les cabinets de minéralogie. Ces géodes fournissent les beaux cristaux de mica verdâtre à base de lithine, les quartz opaques avec scheelin calcaire octaèdre, les cristaux de wolfram, la topaze, etc.

L'oxyde d'étain est concentré dans une série de zones courbes et concentriques, ayant au plus 0m30 d'épaisseur. Ces zones, composées des éléments du greisen auxquels s'adjoignent l'oxyde d'étain et le wolfram, semblent suivre les contours du contact du greisen et des roches dans lesquelles il se trouve enclavé. Sept de ces zones sont assez épaisses pour avoir déterminé l'exploitation de l'oxyde d'étain et la planche I représente une galerie ouverte suivant l'une d'elles.

L'idée qu'inspire tout d'abord la disposition des zones stannifères concentriques, coordonnées à la forme extérieure de la masse éruptive, c'est que les minerais sont contemporains du greisen.

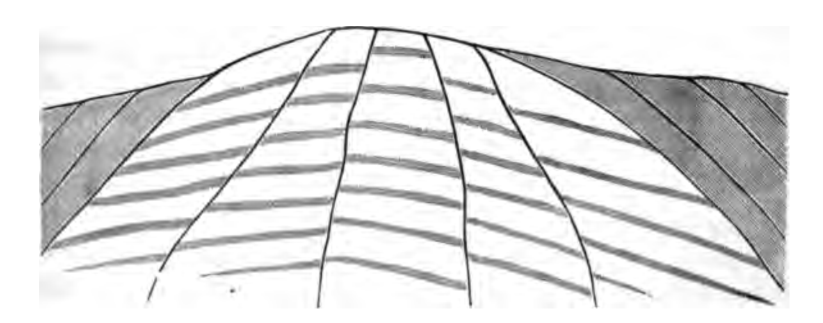


Fig. 38. — Disposition générale du gîte de Zinnwald.

La structure générale du gîte est représentée par la coupe verticale, figure 38 ; on voit, d'après cette coupe que les zones stannifères, concentriques, sont coupées par des fentes qui les ont séparées et rejetées.

Le phénomène d'une apparente stratification des zones stannifères ne serait dès lors autre chose qu'une sorte de liquation, une disposition rubanée que M. de Humboldt a signalée depuis longtemps dans les granites dont les éléments sont très-gros et très-cristallins : et, certes, on ne regarderait pas cette origine comme douteuse si l'on pouvait démontrer que l'oxyde d'étain peut être assimilé, dans certains cas, aux éléments ordinaires des roches éruptives, tels que le quartz, le feldspath ou le mica.

Cette espèce de liquation, opérée entre les éléments d'une roche très-cristalline, est un nouvel exemple de la contemporanéité du minerai contenu dans la roche éruptive.

La masse de greisen a été, postérieurement à sa consolidation, fracturée par des cassures aujourd'hui remplies de débris, de telle sorte que les zones métallifères ont éprouvé des rejets, ainsi qu'il est indiqué par la coupe d'ensemble figure 38, et par la coupe de détail planche I (fig. 1). Ces filons-fentes ont brisé la masse granitique après sa consolidation et sont stériles.

Les conditions de l'origine de ces gîtes ne sont plus douteuses, si l'on vient à étudier celui d'Altenberg.

La roche métallifère d'Altenberg est une roche compacte, grisâtre ou d'un vert sombre, qui contient souvent du quartz visible, et peut être considérée comme un porphyre quartzifère, ou plutôt comme un mélange intime de quartz et feldspath, avec mica ou chlorite. La composition de cette roche, sous le rapport de la proportion des éléments, est très-variable, et, comme ces éléments ne sont pas distincts, les variations ne se manifestent en certains points que par des modifications de couleur.

On trouve accidentellement dans cette masse de petits filons cristallins formés de feldspath ou de topaze pycnite avec mica ; le mica cristallisé est alors ce qu'il est à Zinnwald : il y a identité complète dans les caractères chimiques et minéralogiques. Les passages insensibles qui réunissent la roche compacte à ces filons cristallins ne permettent pas de douter que les éléments qui se montrent ainsi cristallisés ne soient ceux qui existent également dans la pâte de la roche désignée sous les dénominations d'eurite ou de hornstein.

Toute la masse de ce hornstein porphyrique est pénétrée d'oxyde

d'étain. La présence du minerai ne se révèle d'ailleurs que par des taches brunes qui sont apparentes dans les parties les plus quartzeuses. Il n'y a point de cristaux, c'est une sorte d'imbibition de toute la masse. Les parties les plus quartzeuses sont ordinairement les plus stannifères; mais ces parties quartzeuses n'ont elles-mêmes aucune étendue ni aucune régularité de distribution. Tout ce qu'on a prétendu voir, à cet égard, n'était que local; il n'y a là ni filons en serpenteaux ni veines entrecroisées, et l'exploitation marche tout à fait au hasard, laissant le plus pauvre ou le stérile en piliers, et enlevant le plus riche par des chambres irrégulières, très-irrégulièrement distribuées.

L'incertitude du produit d'un abatage est telle, qu'il est impossible de juger le titre du minerai par l'apparence de la roche; aussi a-t-on établi à chaque étage de l'exploitation un petit lavage d'essai qui permet de constater à chaque pas d'une excavation ce que peut être le produit, et de reconnaître s'il faut continuer ou abandonner. Dans quelques fissures postérieures, on trouve des cristaux, mais point d'oxyde d'étain; on n'y rencontre que des pyrites de fer et du fer olygiste titanifère.

En résumé, l'imbibition de l'oxyde d'étain dans la roche démontre que ce minerai est réellement partie constituante. Il n'y a pas plus de raison pour supposer son advention postérieure que pour supposer celle du mica ou de tout autre élément constituant. Or, l'origine éruptive de la roche n'est pas douteuse; c'est une variété de porphyre compacte, en relation intime avec les porphyres cristallins de la contrée, auxquels cette variété est soudée et réunie par des passages minéralogiques. On chercherait en vain un indice d'isolement réel de ce porphyre métallifère, relativement au porphyre quartzifère. Qu'ils ne forment pas une seule et même masse, qu'il y ait là deux éruptions distinctes, on peut l'admettre; mais ces deux masses, ces deux éruptions appartiennent à la même période.

Si l'on compare actuellement le gîte de Zinnwald à celui d'Altenberg, on trouvera les plus grandes analogies dans la forme de ces deux masses arrondies, dans leur position englobée dans les porphyres quartzifères, et dans les passages qui réunissent les roches qui contiennent le minerai au porphyre qui n'en contient pas. Les divergences sont : la composition de la roche plus exclusivement

quartzeuse à Zinnwald, ses caractères plus cristallins, enfin la liquation et la concentration de l'étain suivant des zones concentriques. Que l'on suppose la masse d'Altenberg livrée par des circonstances que nous ne connaissons pas, à cette puissance ,de cristallisation qui isole les diverses parties constituantes d'une roche et tend même à les disposer en zones successives; ce gîte deviendrait alors ce qu'est celui de Zinnwald, et il n'y aurait plus d'autre différence qu'une plus grande proportion de feldspath dans celui d'Altenberg.

La concordance des caractères minéralogiques de l'oxyde d'étain avec ceux des autres éléments du greisen vient encore confirmer l'identité d'origine que nous leur attribuons. Plus la roche est cristalline, et plus l'oxyde d'étain tend à s'isoler en zones cristallines distinctes ; dans les variétés compactes, il se fond dans la masse, en conservant d'ailleurs les mêmes proportions.

Le minerai d'étain partage ainsi toutes les conditions de texture et de structure des roches qui le contiennent; il est lui-même un élément de ces roches; il constitue des gîtes éruptifs.

GITES MÉTAMORPHIQUES

Le principe de l'origine souterraine des gîtes métallifères étant démontré, on peut s'expliquer l'existence d'une multitude de gîtes indéfinissables dans leurs formes. Ces gîtes, que nous désignons sous la dénomination de *gîtes métamorphiques*, consistent le plus souvent en portions de couches appartenant à certains dépôts métamorphiques, que nous trouvons imprégnées de minerais, tantôt de la manière la plus irrégulière, tantôt au contraire dans des conditions d'une telle régularité, qu'on est obligé d'admettre que les actions métamorphiques qui ont amené les minerais ont été contemporaines des actions sédimentaires qui formaient et stratifiaient les dépôts.

Dans la catégorie des gîtes métamorphiques irréguliers et dus à des actions postérieures, citons les gîtes cinabrifères d'Idria en Istrie, de Ripa en Italie, résultant évidemment de phénomènes

d'imprégnations, qui ne peuvent être soumis à aucune autre règle géologique que l'état métamorphique des roches imprégnées.

Beaucoup de gîtes de galène, de blende ou de pyrite paraissent dus à des phénomènes analogues. Sans nous appesantir sur leurs caractères de forme et de gisement, qui échappent en quelque sorte à la description, nous expliquerons leur génération par un seul exemple.

Nous trouvons dans la Sierra de Los Santos le gîte de l'Inglesita, près du village d'El Hoyo, sur la pente du Cerro-de-Gata.

Ce gîte se présente sous la forme d'une arête dont la saillie, escarpée et presque verticale d'un côté, se raccorde de l'autre avec l'inclinaison du versant, par des pentes assez douces pour qu'on puisse les gravir. C'est un affleurement puissant qui, après avoir suivi une direction linéaire d'environ 200 mètres, se bifurque en deux branches distinctes. Ces deux branches s'écartent et vont se perdre vers les parties supérieures du versant, ainsi qu'il est indiqué par la vue (planche XIV).

Lorsqu'on aborde cet affleurement pour en étudier la composition, on reconnaît que les roches constituantes des pentes douces ne sont autres que les schistes de la montagne, redressés, endurcis et dans un état métamorphique très-prononcé. Les faces verticales sont composées de roches quartzeuses d'apparence variable, qui se lient, par des passages graduels, aux schistes endurcis dont elles contiennent de nombreux fragments. Au-dessous de l'escarpement vertical, les schistes sont beaucoup moins altérés, et, par conséquent, moins durs que de l'autre côté ; ils succèdent sans aucun passage aux quartzites. Ce fait d'un passage insensible des schistes aux roches quartzeuses, concordant avec une pente ménagée, tandis que la transformation complète concorde avec l'existence d'un escarpement vertical, démontre que la saillie est due à une action de dénudation exercée sur toute la surface du versant. Cette action a laissé des témoins, dont les saillies sont proportionnées à la dureté des roches, laquelle est elle-même en rapport avec leur métamorphisme.

Les roches quartzeuses qui constituent cet affleurement, dont la puissance, dans la partie centrale, atteint de 8 à 10 mètres, ont, avec les substances métallifères, des rapports très-apparents ; elles sont, en beaucoup de points, imprégnées de peroxyde rouge de

fer et contiennent même de petites concentrations à sections rectangulaires d'hématite rouge fibreuse. Ainsi le peroxyde de fer présente ici des caractères qu'on n'est habitué à accorder qu'aux substances cristallines disséminées dans les roches éruptives, et cette hématite quartzeuse porphyrique, empâtant des fragments des couches traversées, semble une roche nouvelle à ajouter à la série des roches ferrifères.

L'abondance du peroxyde de fer n'est pas moins grande dans les roches traversées. Certaines parties des schistes en sont tellement pénétrées, qu'elles pourraient être considérées comme un véritable minerai ; ces oxydes, qui se trouvent ordinairement au contact des roches quartzeuses, ont rappelé aux exploitants anglais les caractères du *gossan* de Cornwall, ce qui a fait donner au gîte le nom de *l'Inglesita*. En examinant la série de ces faits, on ne peut douter que ces pâtes quartzeuses et ces oxydes de fer qui traversent les roches schisteuses ne résultent d'intrusions spéciales qui auront eu lieu après un étoilement du sol. Or, les oxydes de fer sont liés eux-mêmes à d'autres minerais, et justifient ainsi la dénomination de gossan qui leur a été appliquée.

Sur plusieurs points des affleurements, on remarque des teintes vertes cuprifères, dues à des hydrosilicates et carbonates de cuivre qui se trouvent en noyaux géodiques et veinules dans les parties verticales des roches quartzeuses en contact avec les schistes-gossan. Ces minerais forment souvent un enduit sur les clivages des plans de contact et pénètrent les pâtes elles-mêmes, qui, contenant en même temps beaucoup de fragments schisteux, prennent l'apparence d'une brèche métallifère. Une descenderie d'une vingtaine de mètres, placée suivant le plan de stratification, a démontré que ces indices étaient plus continus en profondeur qu'ils ne paraissent l'être suivant la direction du gîte.

En résumant les caractères de ce gîte problématique, on voit que l'existence des minerais de fer et de cuivre est solidaire de l'état métamorphique des roches schisteuses. C'est l'emplacement d'une source minérale métallifère.

Nous pourrions citer beaucoup d'autres exemples de ces imprégnations capricieuses et irrégulières, notamment autour du plateau central de la France. Les couches relevées du lias présentent des gîtes nombreux de cette espèce, qui ont été décrits par M. Dufrénoy.

Dans tous les districts métallifères, on retrouve d'ailleurs des faits analogues, qui prouvent cette solidarité constante entre les intrusions métallifères et les altérations métamorphiques.

Les gîtes métallifères, considérés dans leur ensemble, étant un des effets du refroidissement du globe terrestre, il est naturel d'en retrouver les traces contemporaines dans certains dépôts sédimentaires. Déjà les minerais de fer nous ont fourni l'exemple de dépôts métallifères stratifiés, dus à des actions métamorphiques contemporaines des dépôts dans lesquels ils sont enclavés, et nous trouvons, dans quelques formations, les minerais de cuivre dans une position analogue. Ainsi la couche du *kupferschiefer*, dans le pays de Mansfeld, nous offre la preuve d'un métamorphisme contemporain, c'est-à-dire de l'intervention de phénomènes souterrains et ignés dans ceux de la sédimentation.

Vers la base méridionale de la gibbosité du Hartz, les terrains de transition disparaissent sous les dépôts secondaires. Le premier de ces dépôts superposés à la grauwacke est le zechstein dont les affleurements forment une zone étroite, mais assez continue, notamment dans le Mansfeld.

Parmi les assises de ce zechstein, il existe une petite couche de schiste qui n'a qu'une épaisseur de 0^m 20 à 0^m 30, mais qui se maintient dans toute l'étendue de la formation. Cette couche contient souvent du cuivre pyriteux ou panaché, disséminé dans le schiste au titre moyen de 1 à 2 pour cent; proportion à peine visible si ces minerais ne formaient accidentellement quelques veines et quelques nœuds distincts.

Cette couche schisteuse, à grains très-fins, presque toujours chargée d'un peu de bitume noirâtre, représente évidemment sur tout ce littoral une période de dépôt très-longue et tranquille. Les eaux qui déposaient ce limon ont dû recevoir les éléments cuivreux par l'intervention d'émanations métallifères dont l'action fut à peine sensible, car il s'y trouvait une assez grande quantité de poissons dont le schiste a conservé les empreintes.

Le kupferschiefer est exploité sur un grand nombre de points, et fournit annuellement plus de 2,000 tonnes de cuivre.

La stratification de cette petite couche subit d'ailleurs de nombreux accidents, elle est souvent traversée par des filons et des

failles qui la découpent et la rejettent (fig. 39), mais qui n'ont sur elle aucune influence d'enrichissement; de telle sorte que les mine-

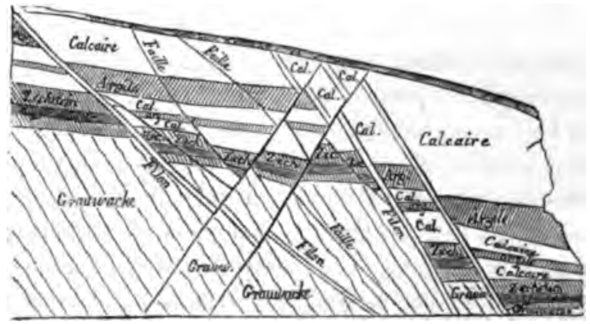


Fig. 39.

rais qu'elle contient ne peuvent être attribués qu'à des phénomènes métamorphiques, contemporains des actions sédimentaires qui l'ont produite.

Le kupferschiefer est suivi, dans toute l'étendue de la formation du zechstein dans le Mansfeld, par des travaux qui, malgré les accidents de toute nature que cette formation a subis, se retrouvent

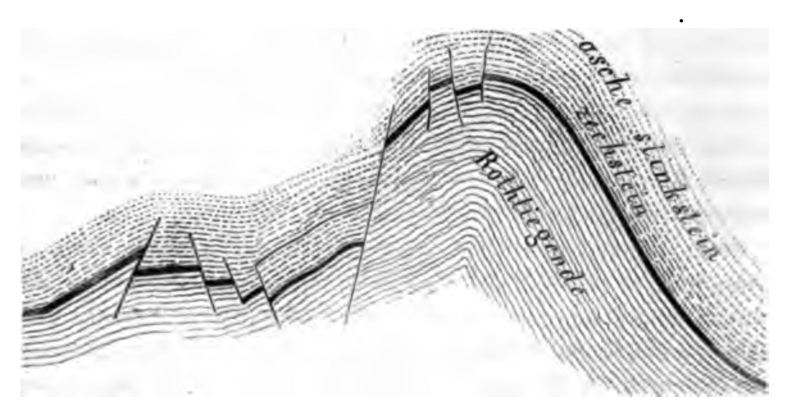


Fig. 40. — Coupe du gisement du kupferschiefer à Hettstedt.

soit au-dessus des grauwackes de transition, soit au-dessus des *rothliegende*, mais toujours au-dessous du banc calcaire dit *zechstein*, recouvert par les calcaires fétides (*stinkstein*), par les calcaires friables (*asche*) ; ainsi que l'indique la coupe figure 40.

Cette coupe du terrain suivi par les travaux aux environs d'Hettstedt, dans le Mansfeld, indique la précision de cet horizon géologique qui, malgré les soulèvements et les failles, se retrouve toujours à son rang stratigraphique, avec les mêmes conditions de puissance et de richesse.

La couche métallifère du zechstein n'est point d'ailleurs un fait qui soit resté sans analogues. On exploite depuis longtemps, en Bolivie, à Coro-Coro, dans la province de la Paz (à l'ouest du lac Titicaca), des couches de grès bigarrés absolument identiques à celles de l'est de la France, mais qui sont pénétrées de cuivre natif et oxydulé, quelquefois réunis en petites veines stratifiées. Ces minéraux cuprifères ont donné, en se décomposant, une teinte verte à douze ou quatorze assises de grès, de 60 à 80 centimètres de puissance.

Comme nos grès bigarrés de l'est, le grès de Coro-Coro présente quelques impressions végétales. Le cuivre natif ou oxydulé s'y trouve tantôt disséminé et imprégnant la masse qu'il faut bocarder ou laver pour l'obtenir en petits grains et en paillettes, tantôt rassemblé en veines ramuleuses, couchées suivant les plans de stratification. On y a trouvé des masses de cuivre natif, stratifiées, à surfaces inégales et ramifiées, pesant plusieurs quintaux.

Les grès bigarrés plombifères de Commern, dans la province de l'Eiffel, sont l'exemple le plus expressif de ces gîtes métamorphiques contemporains des actions sédimentaires.

Que l'on suppose les émanations métallifères amenant leurs produits dans le fond d'un lac ou d'un golfe qui reçoit en même temps des dépôts de sables et de galets : les deux produits d'origine si différente, les uns provenant des eaux courantes et les autres de soufflards volcaniques, seront stratifiés ensemble et se retrouveront un jour sous forme de grès métallifères.

Les grès bigarrés de Commern nous représentent un de ces gîtes, affleurant dans la petite vallée de Bleibach, où se sont développées les exploitations les plus actives.

Ces couches de grès, au nombre de une à quatre, dont les épaisseurs réunies vont de 10 à 25 mètres, forment une vaste plateure,

inclinée en moyenne de 12 degrés, et accidentée par un certain nombre de failles ; la longueur reconnue est de 7 kilomètres et la largeur de 800 mètres.

Les grès sont blancs grisâtres ou blancs jaunâtres, peu cohérents, parfaitement stratifiés, quelques couches contiennent des galets, surtout celles qui sont au toit ou au mur des strates métallifères. Dans ces strates, le grès est parsemé de mouchetures de galène variant depuis la grosseur d'un grain de millet jusqu'à celle d'un pois ; on y trouve aussi du plomb carbonaté. Sur certains points, les grains métallifères forment des sortes de nœuds dits *knottes*, composés d'un mélange de grain de quartz, de galène et de plomb carbonaté, plus fortement aggloméré que le grès.

M. Fayn résume dans les termes suivants les caractères de ces grès métallifères :

La galène est amorphe dans le grès : vue à la loupe, elle affecte plutôt la forme tubulaire que toute autre : les grains de quartz sont brillants, ils ont en général de 1/4 à 3/4^{mm} de côté.

L'enrichissement se fait surtout vers le mur de la couche : ce fait est très-appréciable à Gute-Hoffnung, où l'on trouve dans le pied de la couche des parties durcies, rougeâtres et qui contiennent de la galène à grandes facettes.

En moyenne, et d'après le roulement de plusieurs années, on peut dire que le grès contient de 4 1/2 à 5 0/0 de galène, ou plutôt que la masse moyenne de minerai brut rend, au lavage, de 4 1/2 à 5 0/0 de schlick d'une richesse de 55 à 60 0/0 en plomb.

La galène et le carbonate de plomb ne sont pas les seules substances métalliques contenues dans le grès : on trouve sur quelques points de l'azurite et de la malachite et parfois des nodules zonaires de fer hydraté. Les compositions cuivreuses sont trop peu abondantes pour qu'on puisse en tirer parti.

La couche est souvent divisée en deux ou trois strates par de petits lits de conglomérats dont la puissance va de 0^{m}15 à 0^{m}25 d'épaisseur.

Quelquefois, le grès est compacte et le fond ou *vif-thier* d'une galerie ne présente que des knottes ; d'autres fois, il est sillonné de petites coupes ou fentes, qui se croisent en tous sens, et dont les bords, colorés en rouge, tranchent fortement sur la couleur générale. Ces coupes, véritables petits filons remplis de

galène courant dans le grès, présentent cette particularité que, partout où on les rencontre, la roche devient plus riche en carbonate de plomb.

Les gîtes de Commern sont exploités avec une activité exceptionnelle : on ne voit de tous côtés que carrières à ciel ouvert, puits d'extraction, laveries qui séparent la galène du grès préalablement broyé. Les principales exploitations produisent 30,000 tonnes de schlicks par année. Les plombs provenant de ces schlicks contiennent de 200 à 400 grammes d'argent par tonne.

Ainsi, grâce à la disposition stratifiée et superficielle de ces gîtes, on peut en tirer des produits bien supérieurs à ce qu'aurait pu fournir un filon.

Sous le rapport géologique, les couches plombifères de Commern nous reportent à la formation de certains minerais de fer stratifiés, comme ceux de la Voulte ou de Veyras que nous avons attribués à l'intervention locale de sources minérales et thermales. Il est intéressant de voir des dépôts qui, par des influences analogues, ont été imprégnés de minerais de plomb, de cuivre et de fer ; tous ces éléments ayant pris la structure en grains, nœuds ou rognons qui sont propres à ces agglomérations métallifères.

En résumé, les gîtes métamorphiques appartiennent à des émanations métallifères qui se sont produites dans des circonstances très-différentes et peuvent se rapporter à deux types : ou bien elles ont imprégné des terrains distendus et sillonnés d'une multitude de *fissures* de manière à y former des stockverks ; ou bien elles ont fait irruption dans les eaux sédimentaires de telle sorte que leurs produits se trouvent mélangés aux dépôts stratifiés.

On voit, par cet examen rapide des diverses conditions de gisement des minerais, que la théorie des gîtes métallifères est fréquemment destinée à servir de guide pour les travaux de recherches ou d'exploitation.

Les filons réguliers ou *filons-fentes*, les *filons de contact*, les gîtes irréguliers en *veines*, *amas* ou *stockwerk*, les *filons* ou *amas éruptifs*, les *gîtes métamorphiques*, sont des manifestations différentes des mêmes phénomènes ; les différences qu'ils présentent ne résultent que des circonstances variables dans lesquelles ces phénomènes générateurs se sont produits.

Il résulte en outre de ces études que, si la théorie des gîtes métallifères, appuyée sur des faits nombreux, identiques dans toutes les parties du globe, peut être considérée aujourd'hui comme établie ; les conditions pratiques, c'est-à-dire celles qui règlent l'allure et la richesse des mines, sont purement locales. Il n'y a donc point de formules générales pour déterminer ces conditions d'allure et de richesse ; c'est uniquement par l'expérience, c'est-à-dire par l'étude directe d'un grand nombre de gîtes et par la connaissance des études déjà faites de tous les autres, qu'un ingénieur peut arriver à des principes rationnels d'exploitation. C'est seulement alors, qu'amené sur un gîte nouveau, il peut en faire, pour ainsi dire, le diagnostic, et déterminer la marche de travaux à entreprendre, qui lui est enseignée par l'expérience des mines exploitées dans des conditions analogues.

CHAPITRE III

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX DISTRICTS MÉTALLIFÈRES

Pour décrire les conditions générales des gîtes métallifères, leurs formes et leurs allures, pour indiquer les relations qu'ils peuvent avoir avec les terrains encaissants, nous avons dû emprunter aux diverses contrées du globe les exemples qui nous ont paru les plus expressifs. Si l'on veut ensuite pousser l'étude au-delà de ces conditions générales et préciser tous les détails de la composition et du gisement des gîtes métallifères, il faut nécessairement parcourir les principaux districts qui contiennent les mines les plus productives, afin de suivre et d'étudier les faits recueillis par l'observation.

Les gîtes métallifères se trouvent, en effet, groupés dans des districts géologiques spéciaux ; ils ont partout des relations de gisement avec les terrains qui constituent ces districts, et les variations que présentent leurs caractères et leurs allures apportent des enseignements nouveaux à la science de l'ingénieur.

Les principes généraux que nous avons posés précédemment permettront de suivre rapidement les caractères spéciaux des gîtes métallifères dans chaque district. En parcourant ainsi les diverses contrées du globe les plus riches en métaux, l'intérêt des études

géologiques se trouve d'ailleurs augmenté par celui qui résulte toujours des grands travaux d'exploitation.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'ANGLETERRE

La constitution géologique de l'Angleterre annonce en quelque sorte l'existence probable de gîtes métallifères. On y voit en grande proportion les terrains schisteux de transition, qui, dans le *Cornwall* et le *Devonshire*, sont les milieux les plus riches en filons; on y voit affleurer sur un grand nombre de points les calcaires carbonifères, calcaires de montagne qui semblent avoir été spécialement aptes à la formation des gîtes irréguliers, et qui, dans toutes les contrées du globe, comme dans le *Derbyshire* et le *Cumberland*, le *Northumberland* et le *Durham*, devraient plutôt être désignés sous la dénomination de calcaires métallifères.

Ces terrains de transition ont été sillonnés de roches porphyriques et trappéennes dont les phénomènes éruptifs semblent avoir été précurseurs de ceux qui ont formé les gîtes métallifères.

La production de l'Angleterre, en métaux, est la plus complète et la plus développée de l'Europe; le fer y joue le rôle principal, mais les autres métaux y sont représentés par des quantités considérables. Aux ressources minérales de son sol, l'Angleterre joint d'ailleurs un commerce très-développé de minerais transportés de toutes les contrées du monde pour y subir les traitements métallurgiques; d'où est résultée une prépondérance dans la production et le commerce de tous les métaux.

La production des minerais extraits du sol de l'Angleterre a été en 1868 :

	Tonnes.	Métal produit.
Minerais de fer	10.169.230	4.978.000
— d'étain	13.950	9.300
— de cuivre	157.330	9.800
— de plomb	95.230	71.000 argent 26
— de zinc	12.780	3.700
Pyrites de fer	76.480	
Manganèse, arsenic, etc	6.000	

En Angleterre comme sur le continent, ce sont les minerais de fer stratifiés dans les terrains sédimentaires qui sont la base principale de l'industrie du fer, avec cette seule différence que les fers carbonatés lithoïdes des houillères (black-band), ont une importance particulière dans les bassins houillers du pays de Galles et de l'Ecosse.

Pour la fabrication des fers de qualité, les gîtes de contact qui existent dans les terrains siluriens et devoniens fournissent des minerais plus riches et plus purs.

Parmi ces gîtes, les plus productifs sont les gîtes d'hématites rouges du Cumberland (*red ore* de Whitehaven, d'Ulverstone, etc.), qui ont livré 926,000 tonnes en 1868, et dont la production est toujours en voie de développement.

Dans un travail récent sur les fabrications métallurgiques de cette contrée privilégiée, M. Jordan a résumé, dans les termes suivants, les conditions du gisement de ces minerais :

« Les caractères extérieurs du *red ore* ne sont pas partout iden-
« tiques. On en trouve dans certains gisements qui a tout l'aspect
« des hématites *lithoïdes* de La Voulte et de Privas ; d'autres fois il
« est dur, luisant et semblable aux *agathisés* de la même provenance.
« Ailleurs, il est en énormes rognons mamelonnés, à cassure
« fibreuse et rayonnée ; sa teneur en fer arrive alors à 67 et 68
« pour 100. Ou bien il forme des graviers pisolithiques, ou une
« poussière onctueuse. Enfin, il en est qui sont presque terreux,
« de couleur très-foncée (*black ore*), et qui renferment des pro-
« portions notables de manganèse.

« La gangue de tous ces minerais est surtout siliceuse ; la propor-
« tion de chaux qu'ils renferment est insignifiante. On y trouve des
« traces de soufre, de phosphore, quelquefois de plomb et d'arse-
« nic. Presque tous renferment une certaine proportion de manga-
« nèse.

« Une des variétés les plus riches est l'hématite rayonnée que
« l'on extrait des mines de Parkside, près Witehaven.

« La moyenne de la teneur en fer des minerais employés dans le
« pays se rapproche souvent de 60 pour 100, et descend rarement
« au-dessous de 55 pour 100.

« Quant au gisement géologique des *red ores*, il est à peu près
« le même dans le Cumberland et le North Lancashire. Des lam-

« beaux du calcaire carbonifère se montrent entre Ulverstone et « Barrow et près de Whitehaven. C'est dans cette formation et « dans celle du millstone grit que se rencontre l'hématite à l'état « d'amas plus ou moins aplatis, et presque toujours voisins des « schistes de transition sur lesquels repose soit le calcaire carbo- « nifère, soit le millstone grit directement. M. R. Hunt explique sa « présence par l'action sur les roches plus anciennes d'eaux char- « gées probablement d'acide carbonique, qui sont venues déposer « l'oxyde de fer, soit dans les cavités et les vides des calcaires et « des schistes (comme cela se montre dans les environs de White- « haven, à Parkside en particulier, où le minerai est recouvert « par plusieurs alternances de schiste et de grès appartenant aux « grit measures), soit dans les fissures et les dépressions de la « surface des roches encaissantes (comme on le voit dans les gi- « sements du district d'Ulverstone, où le minerai arrive jusqu'à la « surface du sol et n'est recouvert que par quelques alluvions mo- « dernes). Dans les mines de Parkside, on trouve une épaisseur de « minerai de plus de 21 mètres. »

On voit, d'après ces caractères, que ces gîtes doivent être attribués à des sources minérales qui ont intercalé leurs produits non plus dans les eaux et dans les dépôts sédimentaires, origine constatée pour les hématites jurassiques de l'Ardèche, soit pour les oligistes devoniens de la vallée de la Meuse, mais dans des fentes ou cavités préexistantes entre les calcaires carbonifères et le terrain silurien. Ce sont de véritables gîtes de contact.

Ainsi s'établit une liaison naturelle entre les gîtes de contact, dus à des actions métamorphiques, et ceux qui par les mêmes actions ont pu être interstratifiés dans les dépôts sédimentaires. C'est le même phénomène intervenant dans des circonstances différentes.

Il est d'ailleurs naturel de trouver une quantité notable de minerais de fer cristallins, surtout des hématites brunes fibreuses, dans les districts métallifères tels que le Cornwall et le Devonshire. Ils s'y trouvent seuls ou mélangés avec d'autres minerais.

Le Cornwall fournit seul tout l'étain et les sept huitièmes du cuivre produit par les mines de l'Angleterre. La surface ondulée et aride

de cette contrée ne présente presque exclusivement que des roches schisteuses de transition, accidentées à la fois par des granites et par des porphyres. La chaîne ochrinienne, qui en forme l'axe, est une série de collines granitiques arrondies, dont la hauteur ne dépasse pas 3 ou 400 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ces sommités granitiques sont enveloppées par des schistes argileux passant aux schistes talqueux et amphiboliques appelés *killas*, dont les couches se relèvent autour des masses qui les ont traversées. Ce sont les seules roches visibles dans les vallées et sur les plateaux, sauf les interruptions que leur font subir des dykes d'un porphyre appelé *elvan*.

La réunion de ces trois roches: granite, elvan et killas, constitue le sol métallifère.

Les filons qui contiennent l'étain et le cuivre, et forment le véritable caractère de la richesse du pays, ne dépassent pas Truro ; le nord-est du comté, ainsi que la partie avoisinante du Devonshire, où se montrent des grauwackes et des calcaires esquilleux postérieurs aux killas, ne présente plus que de rares filons de composition différente, tels que les filons d'antimoine de Huel-Boys et les filons de plomb de Pentiglaze.

L'oxyde d'étain et la pyrite cuivreuse, qui sont les deux minerais caractéristiques du Cornwall, se trouvent principalement en filons, disposés de telle sorte qu'on peut regarder l'oxyde d'étain comme antérieur à la pyrite, mais avec une véritable liaison géognostique indiquée par l'existence de certains filons à la fois stannifères et cuprifères.

Il est ainsi démontré que la génération de ces gîtes n'a pas été instantanée, mais qu'on doit la considérer comme un phénomène lent et continu qui, entre les deux périodes métallifères, a présenté des alternances des deux minerais.

A une époque postérieure à la formation des filons caractérisés par les minerais d'étain ou de cuivre, d'autres fentes furent encore produites. Ces fentes sont remplies de matières stériles auxquelles s'adjoignent quelquefois des minerais plombifères et blendeux trop pauvres pour qu'on en ait pu tirer parti; ce sont des filons croiseurs *(cross course)*.

Le plan ci-après, figure 41, indique à la fois les relations et les formes habituelles des divers filons qui sillonnent le killas.

On y trouve réunis les filons métallifères formant un réseau com-

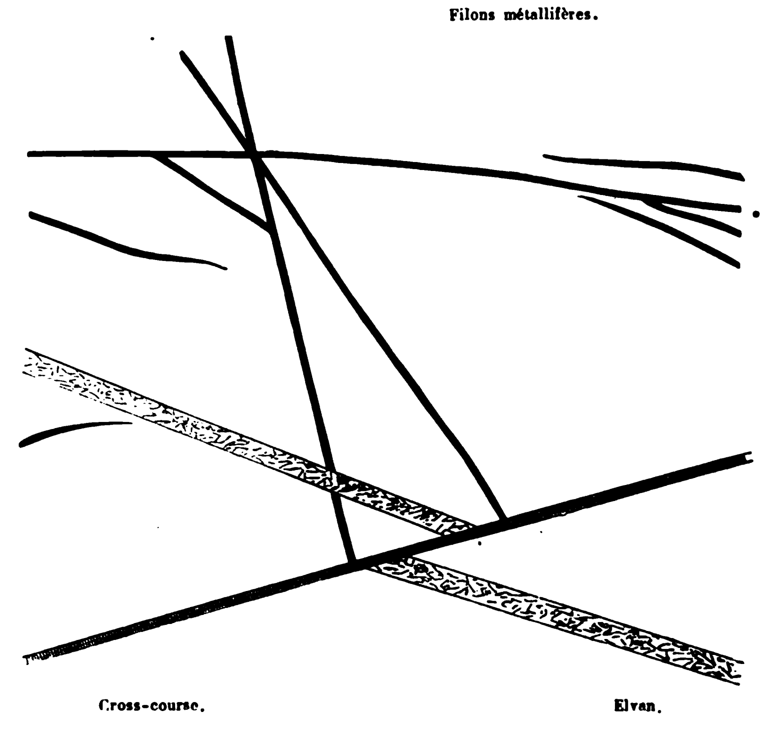


Fig. 41. — Plan d'un groupe de filons dans le Cornwall.

plexe de fentes plus ou moins continues qui s'entrecroisent; l'elvan en gros dykes; les filons argileux stériles (cross-courses), qui coupent et rejettent toujours les filons métallifères.

Les dykes du porphyre quartzifère appelé *elvan* sont à la fois nombreux et puissants; ils paraissent antérieurs au terrain houiller et appartiennent à l'époque la plus récente des terrains de transition. D'après les recherches de M. de La Bèche, les dykes d'elvan, un seul excepté, sont antérieurs aux filons métallifères; mais, outre cette exception, il existe des exemples nombreux de pénétration des principes métallifères, de l'étain surtout, dans l'elvan.

Des circonstances d'enrichissement des filons au contact de l'elvan autorisent à conclure que ce porphyre est réellement la roche métallifère de la contrée, roche dont la sortie a précédé les

émanations métallifères et contribué peut-être à provoquer la formation des fentes à filons; de telle sorte que les éruptions de l'elvan, la formation des filons et leur remplissage successif par des gangues d'abord stannifères, puis cuprifères et enfin plombifères, constituent une même série de faits qui peuvent être considérés comme ayant commencé à l'époque de la formation supérieure de transition. Ces faits présentent une série géognostique d'actions dont les termes successifs alternent entre eux, ainsi qu'il arrive pour les produits des actions sédimentaires.

La description de MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, document toujours classique pour l'étude du Cornwall, vient à l'appui de cette hypothèse. En effet, il en résulte que la direction générale de la grande majorité des filons d'elvan et des filons métallifères est parallèle à la série des protubérances granitiques qui forment l'axe culminant de la contrée; de telle sorte que les filons sont évidemment liés aux phénomènes qui ont déterminé les accidents principaux de la surface.

Les filons *stannifères* du Cornwall sont principalement composés de quartz. Ce quartz est mélangé tantôt de chlorite, tantôt de tourmaline et même de mica. L'uniformité de ces gangues est accidentellement interrompue par l'hydroxyde de fer, quelquefois par du spath-fluor. Dans les gangues ainsi caractérisées se trouve, disséminé en particules, en petits cristaux, en nœuds, veines et druses cristallines, l'oxyde d'étain, but principal des recherches et des travaux souterrains. Comme minerais annexes, on y trouve d'abord la pyrite cuivreuse qui, dans certains cas assez rares, devient dominante à tel point, qu'une mine d'étain se trouve transformée en une mine de cuivre. On y trouve en outre le mispickel, le fer arséniaté, l'uranite, le wolfram.

La richesse des filons est très-variable. On peut évaluer à 2 pour 100 au plus la teneur moyenne (en oxyde d'étain) des massifs abattus. A ce taux l'exploitation est avantageuse, même dans les roches dures, parce que les frais de préparation mécanique et de traitement métallurgique sont faibles pour ce minerai dont la densité est considérable : aussi les filons sont-ils presque toujours productifs, pour peu qu'ils soient stannifères.

Il résulte des observations faites sur les influences qui paraissent

avoir contribué à féconder les filons, que les filons d'étain sont concentrés vers la limite de contact des granites et du killas, mais que leur siége principal est le granite. Ainsi les filons d'étain ont leur siége principal dans les environs de Saint-Just, vers l'extrémité S. O. du district, partie où dominent les granites. Il est cependant à remarquer que quelques filons stannifères, qui sont en totalité ou en partie dans le killas, y sont plus riches que tous les autres; d'où l'on pourrait peut-être conclure que les cassures de cette première époque ont porté principalement sur la région granitique, mais que le killas avait alors, comme cela se trouve confirmé par les filons cuprifères postérieurs, une plus grande aptitude à condenser ou à retenir les émanations métallifères.

L'allure des filons d'étain est très-variable et telle qu'on doit supposer celle de fentes produites dans des roches hétérogènes. Il y a des filons qui ont été suivis sur plus de 2,000 mètres, et dont la puissance moyenne est entre 0m60 et 1m20; ils présentent fréquemment des étranglements complets ou des renflements à 3 et 4 mètres. Généralement, un renflement correspond à une accumulation de minerai, et c'est pour cela qu'un filon s'enrichit d'autant plus, dans le cas d'intersection avec un autre filon contemporain, que l'angle de croisement est plus aigu. Au contraire, dès qu'un filon vient à se bifurquer et à diminuer de puissance, il en résulte toujours un appauvrissement.

Ces bifurcations se manifestent surtout dans un changement de terrain : ainsi, dans certains cas, des filons qui courent dans le granite se bifurquent et s'éteignent dans le killas ; d'autres fois, c'est l'inverse qui a lieu.

L'oxyde d'étain constitue en Cornwall quelques stocwerks qui existent surtout dans le granite et rarement dans le porphyre elvan. Parmi ceux que renferme le granite, celui de Saint-Austle est surtout remarquable parce que son exploitation à ciel ouvert permet d'en étudier les diverses parties. Le granite encaissant est devenu friable par la décomposition du feldspath en kaolin ; il est traversé par un grand nombre de veines composées de quartz tenant de la tourmaline et de l'oxyde d'étain. Ces veines ont 12 à 15 centimètres de puissance; les principales sont verticales et dirigées E. O.; d'autres, inclinant vers le sud, coupent les premières et se soudent avec elles en donnant naissance à des druses. La disposition du

gîte concorde d'ailleurs avec l'idée d'une origine postérieure au granite encaissant qui aurait été successivement soumis à des mouvements qui l'ont fracturé et à des émanations qui en ont métamorphisé la masse.

C'est dans ces intrusions métamorphiques de l'oxyde d'étain que l'on a trouvé les pénétrations et les épigénies dont toutes les collections minéralogiques possèdent des échantillons. Tels sont les granites dans lesquels l'oxyde d'étain disséminé semble substitué aux éléments constituants; tels sont les grands cristaux épigènes dans lesquels il s'est substitué au feldspath.

Toutes les roches du district, préexistantes comme le granite aux émanations métallifères, peuvent donc présenter comme lui quelques cas d'un métamorphisme analogue. C'est ce qui arrive pour le killas avec des circonstances spéciales résultant de la structure schisteuse de cette roche. Ce genre de gîte est connu dans le Cornwall sous la dénomination de *tinfloors;* il consiste en veines et petits amas d'oxyde d'étain avec les gangues ordinaires de quartz et de tourmaline. Ces gîtes sont disposés principalement dans le sens de la stratification et presque toujours placés vers le contact du granite avec le killas, les plans de ce contact semblent avoir servi de cheminées aux émanations métallifères qui se sont infiltrées dans les plans de séparation des couches schisteuses.

Cette disposition, qui a souvent été présentée comme une preuve de la contemporanéité du killas et de l'oxyde d'étain, ne nous semble qu'une manière d'être spéciale du gîte en stocwerks. Elle peut s'expliquer par la structure même du killas, dont les couches, ayant été soumises à une grande pression de la part des émanations métallifères qui tendaient à sortir vers la surface, ont dû se séparer, se disjoindre, et par conséquent se métamorphiser dans le sens de la stratification, qui présentait des clivages faciles et des fissures.

Il nous reste à citer encore, dans le Cornwall, des *alluvions stannifères*, résultat évident de l'action des eaux sur les gîtes préexistants. Ces alluvions sont anciennes et recouvertes, suivant les localités, de 5, 10 et jusqu'à 20 mètres d'autres alluvions.

On trouve dans les alluvions stannifères des fragments de granite, d'elvan et de killas; la présence de l'étain y est annoncée par des galets composés de quartz et de tourmaline, gangues ordinaires

des minerais en place. L'oxyde d'étain y est tantôt en grains très-fins, mêlé à des sables rassemblés à la partie inférieure du dépôt, tantôt disséminé en galets assez gros.

Les pyrites et le mispickel, qui abondent dans les filons, ont disparu dans les alluvions, en vertu de leur nature aigre et cassante et de leur décomposition facile; aussi les exploitations de ces alluvions, ainsi placées dans les mêmes conditions que celles de Banca, fournissent-elles de l'étain très-pur et très-recherché. Ces gîtes, désignés sous le nom de *stream vorks*, sont à la proximité de Saint-Just et de Saint-Austle, centres principaux des gîtes en place. Les stream vorks fournissent seuls l'oxyde d'étain fibreux et concrétionné, dit *étain de bois*. Cette variété d'oxyde d'étain ne se trouve pas dans les filons et l'on s'est longtemps demandé d'où elle pouvait provenir; on a fini par la trouver en place dans certains *tin-floors* du killas. On est ainsi conduit à considérer l'étain de bois comme appartenant à certains gîtes métamorphiques superficiels, en grande partie détruits par les érosions alluviales.

Les filons *cuprifères* sont plus nombreux et plus développés dans le Cornwall, que les filons stannifères; ils sont concentrés principalement vers l'est du district, aux environs de Redruth. La roche constituante de cette partie du district est, ainsi qu'il a été dit, le killas. La direction générale des filons cuprifères coïncide à peu près avec la direction générale des côtes et de l'axe culminant de la chaîne ochrinienne, tandis que celle des filons croiseurs coupe cette direction presque à angle droit.

La composition des filons cuprifères est très-simple, la gangue est exclusivement le quartz. Des hématites brunes, les roches altérées des épontes et l'argile se joignent accidentellement au quartz, et font varier l'aspect et la dureté des masses. Dans les filons à gangue saine et dure, le minerai principal est la pyrite cuivreuse, à laquelle se réunissent accidentellement le sulfure de cuivre et l'oxydule; les minerais annexes sont la pyrite de fer, le mispickel, l'oxyde d'étain et la blende. Dans les gangues pourries, dont l'altération se manifeste surtout par la prédominance de l'hydroxyde de fer, les sulfures disparaissent, et l'on trouve le cuivre à l'état de bioxyde, d'oxydule, de cuivre natif, de carbonate, d'arséniate, etc. Toutes ces matières imprègnent le quartz, et, lorsqu'il existe des fragments

du toit ou du mur, ils sont liés entre eux et empâtés par ce même quartz métallifère.

L'argile ne se trouve qu'en salbandes; elle est ordinairement stérile. D'après l'allure de ces salbandes qui, dans beaucoup de filons, n'existent que d'un seul côté et passent quelquefois de l'autre côté en coupant le filon, on est conduit à supposer que cette argile est généralement postérieure au filon lui-même, qui a été ouvert de nouveau après le premier remplissage, ces dernières fentes ayant été remplies par des argiles.

L'hydroxyde de fer domine surtout dans la partie supérieure des filons; il en forme l'affleurement, et indique, en quelque sorte, par les caractères de sa composition, si le filon est riche ou pauvre et si l'on doit y entreprendre des travaux. En effet, cette gangue ferrugineuse, appelée *gossan*, paraît résulter de la décomposition des pyrites; elle est plus facile à explorer par sa position superficielle, sa nature fendillée et pourrie (suivant l'expression des mineurs), que les autres parties du filon, elle peut enfin fournir, par sa teneur en composés métallifères, des indices précieux sur la composition intérieure. Ces parties sont soigneusement recherchées lorsqu'elles contiennent des minerais décomposés et par conséquent plus faciles à traiter que les sulfures.

Les filons de cuivre sont souvent remarquables par leur étendue; ainsi le filon principal d'*United-Mines* a été reconnu sur une longueur de 9,000 mètres.

Ces filons sillonnent les environs de Redruth, où le groupe principal occupe une largeur d'environ 12 kilomètres et une longueur égale : la planche XV donnera une idée de leur allure et de la manière dont ils sont accidentés par les croiseurs.

Cette carte, extraite des notes de M. Daubrée, représente les principaux filons du district d'*United* et de *Consolidated-Mines;* elle fait bien comprendre ce que l'on doit entendre par les directions générales, qui ne sont pas tellement rigoureuses, qu'il n'en puisse résulter des rencontres et des croisements de filons contemporains.

La puissance moyenne des filons de cuivre est entre 1 et 2 mètres. Cette puissance, comme celle des filons d'étain, est sujette à des renflements et à des étranglements nombreux; leur allure est compliquée par de fréquentes divisions et bifurcations.

et les grauwackes du pays de Galles, avec les caractères ordinaires. Mais, dans le Cumberland et le Derbyshire, la formation métallifère est enclavée dans les calcaires carbonifères, à la base du terrain houiller, et les gisements y offrent des particularités remarquables.

Le calcaire carbonifère se compose d'alternances de couches calcaires avec des grès et des schistes analogues aux schistes houillers. Ces alternances sont fortement accidentées et souvent modifiées par les trapps appelés winstone et toadstone, lesquels se sont intercalés dans le sens de la stratification, jusqu'à trois fois dans le Derbyshire, et sur des longueurs considérables. Dans les parties métallifères de ce terrain, les mineurs distinguent trois modes de gisement : les *rake-veins* qui sont les filons proprement dits; les *pipeveins* et les *flat-veins* qui désignent, les premiers des amas allongés, et les seconds de véritables lits intercalés dans les couches.

Les filons constituent la plus grande partie des gîtes; ils sont composés de chaux carbonatée lamelleuse, de spath fluor, de baryte sulfatée et de quartz; les minerais contenus dans ces gangues sont la galène cubique ou grenue et la blende.

La forme accidentée de ces filons leur donne un caractère particulier; en traversant les couches hétérogènes de la formation carbonifère et les trapps, ils éprouvent en effet des variations d'allure qui paraissent résulter du glissement des couches. Si, par exemple, le filon est vertical, les diverses parties contenues dans les couches traversées, au lieu de se suivre et d'avoir le même axe, sont dans des plans différents et leur relation est souvent indiquée par des veines horizontales. Il en résulte une structure en zigzag qui avait d'abord paru une exception aux lois qui régissent la forme des filons, mais qui n'est en réalité qu'un accident.

Ces filons sont en général plus étroits en traversant les schistes et les grès que dans les calcaires où ils sont, au contraire, puissants et continus; il y a même des cas assez nombreux où l'étranglement d'un filon est complet lorsqu'il traverse les grès ou les roches trappéennes. Enfin on a surtout observé que, dans les roches schisteuses, les filons étaient souvent remplis par des argiles très-peu métallifères, tandis que les calcaires étaient le siége véritable des minerais et des gangues cristallines. Il y a donc eu, dans

ces couches calcaires, une double influence qui y a favorisé l'extension des fractures et la concentration des substances métallifères. Peut-être le second fait n'est-il que la conséquence du premier.

Il résulte de ces deux conditions que les couches calcaires apparaissent, dans le Cumberland, comme contenant les minerais de plomb, à l'exclusion des autres roches. Les couches supérieures ont été reconnues, en outre, comme plus riches que les couches inférieures ; il en est résulté :

1° Une limite supérieure de la richesse, limite indiquée par la dernière couche arénacée de la formation houillère dite millstone-grit ;

2° Une limite inférieure, indiquée par l'appauvrissement des gîtes, qui ne sont exploités dans la plupart des mines que jusqu'à la sixième assise calcaire de la formation, à une profondeur moyenne de 280 à 300 mètres.

Entre ces deux limites il existe donc une zone horizontale métallifère d'une épaisseur moyenne de 200 mètres. Dans certaines mines, les filons ont été poursuivis beaucoup plus bas, de manière à démontrer qu'ils satisfont, malgré cette concentration apparente, à la loi de continuité en profondeur, loi qui est une conséquence de l'origine des filons. Les gîtes horizontaux ne constituent également aucune exception et doivent être considérés comme les épanchements ou ramifications des filons entre les plans de stratification des couches traversées.

Les caractères de structure des gîtes du Derbyshire sont les mêmes que dans le Cumberland ; seulement, les intercalations horizontales des trapps y sont beaucoup plus fréquentes et la plupart des filons sont limités subitement et complétement par ces roches. M. Farey a fait une statistique d'après laquelle, le nombre des mines exploitées étant de 280, il y en a seulement 19 dans lesquelles le filon se continue dans le toadstone, en changeant, il est vrai, d'allure et de structure, mais avec les mêmes caractères de composition. MM. Dufrénoy et Élie de Beaumont, qui ont visité plusieurs de ces mines, paraissent disposés à conclure que, dans les autres cas où l'interruption est admise, elle n'est qu'apparente et résulte du rejet et de la division du filon. Les exploitants ne peuvent avoir aucun motif pour rechercher la suite du filon ainsi appauvri

dans une roche résistante, et la suppression a été admise comme générale. Cette suppression pourrait d'ailleurs s'expliquer en supposant que les trapps ont été eux-mêmes injectés entre les plans de stratification des couches postérieurement à la formation des filons. Quoi qu'il en soit, les gîtes plombifères du Cumberland et du Derbyshire, bien qu'ils aient été déjà l'objet d'observations nombreuses et intéressantes, doivent être cités parmi ceux qui présentent encore le plus de sujets d'études.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE LA FRANCE

Le sol de la France, qui présente tant de similitudes géologiques avec celui de l'Angleterre, n'a pas les mêmes conditions de richesses métalliques. Cette infériorité n'est cependant pas aussi absolue qu'il semble résulter de la comparaison des produits, la production de la France en minerais autres que le fer n'étant guère que de 25,000 tonnes de minerais de plomb, zinc ou cuivre.

Il existe en réalité un grand nombre de gîtes métallifères en France, et si l'industrie des mines n'y avait été entravée depuis longtemps par une législation trop administrative et par l'indifférence résultant d'un abandon prolongé, on pourrait espérer la voir un jour se développer. Nous espérons le démontrer par un examen rapide des éléments connus.

Les gîtes métallifères existent dans les cinq contrées de transition qui forment le relief géologique des bassins sédimentaires. Ces cinq districts sont : 1° la *pointe de Bretagne*, limitée par une ligne qui, du Cotentin, passe près d'Alençon, d'Angers, et se termine vers Parthenay ; 2° le *massif des Vosges*, s'élevant comme une île au milieu des terrains sédimentaires ; 3° le massif qui constitue le vaste *plateau de la France centrale*, et comprend l'Auvergne, le Limousin, le Forez, le Velay, le Vivarais, la Lozère et les Cévennes ; 4° la *chaîne des Pyrénées;* 5° les *Alpes*. C'est en effet seulement dans ces contrées, qui constituent les régions élevées de la France, et vers les contacts des roches granitiques et porphyriques, soit avec les roches schisteuses anciennes, soit avec

les terrains secondaires métamorphiques et accidentés que se trouvent les gîtes métallifères connus jusqu'à présent.

L'importance de ces gîtes ne répond pas à l'étendue des cinq districts ; ce n'est pas qu'ils soient rares ou peu puissants, mais leur richesse est assez généralement au-dessous de celle des gîtes de même nature exploités dans les pays voisins. Néanmoins plusieurs mines ont pu résister aux concurrences extérieures. Nous entrerons donc dans quelques détails, non-seulement sur les gîtes actuellement exploités, mais aussi sur ceux qui l'ont été autrefois et qui nous semblent offrir quelques chances de reprise pour l'avenir.

Le massif de la *Bretagne* présente les plus grandes analogies de configuration et de composition avec le Cornwall. C'est une contrée montueuse, quoique généralement peu élevée au-dessus du niveau de la mer, composée de schistes de transition dont beaucoup se rapprochent du killas, accidentée par des granites, par des porphyres analogues à l'elvan et par des roches serpentineuses identiques à celles du cap Lisard. Malgré ces analogies de composition, les gîtes métallifères n'ont pas la même importance en Bretagne qu'en Cornwall ; les filons d'étain y sont à peine représentés, ceux de cuivre n'existent plus, et l'on n'y trouve que des gîtes de galène argentifère et de blende qui peuvent être assimilés aux filons qui existent en Cornwall à l'est de Truro.

L'oxyde d'étain a principalement été signalé sur deux points. Le premier est la côte de Pyriac, à 4 kilomètres N. O. de l'embouchure de la Loire ; le killas y est en contact avec le granite, et le point de réunion des deux terrains est formé d'alternances de roches schisteuses et granitoïdes que M. Dufrénoy dénomme formation de granite et gneiss. C'est cette formation qui contient l'oxyde d'étain, soit en petits rognons disséminés, soit en petits filons à gangues de quartz : ce qui explique l'existence des sables stannifères que l'on trouve au nord de Pyriac vers l'embouchure de la Vilaine, tandis qu'au sud, où la côte est exclusivement granitique, il n'en existe pas. Des recherches ont eu lieu sur cette côte en 1818, mais elles n'ont pas conduit à un gîte régulier et exploitable, quoiqu'elles aient produit environ 10 quintaux d'étain. Néanmoins M. Dufrénoy a justement remarqué que les recherches diri-

gées trop du côté du granite et pas assez vers le killas, n'auraient pas dû être bornées à l'exploration des côtes.

Le moulin de la Villeder, près le roc Saint-André, dans le Morbihan, est le second point sur lequel se montre un filon de quartz stannifère : il est encaissé dans le granite. Sa direction N. 34° O. concorde assez bien avec la direction générale des filons du Cornwall. Le quartz prend une teinte caractéristique, un peu verdâtre dans les parties stannifères ; il contient du fer arsenical, de la topaze et de l'émeraude.

Ces deux gîtes, exploitables ou non, établissent l'analogie géognostique des deux contrées, d'autant plus qu'il existe sur beaucoup de points des alluvions stannifères. Il est d'ailleurs probable que le massif schisteux renferme d'autres gîtes, mais dans la Bretagne, plus qu'en Cornwall, la généralité de la végétation est un obstacle aux explorations et aux recherches.

La seconde époque métallifère du Cornwall, celle de filons cuprifères, ne paraît pas, jusqu'à présent, reproduite en Bretagne ; mais la troisième est représentée sur une échelle assez large, par des filons puissants, dont le minerai principal est la galène plus ou moins argentifère, et dont les minerais annexes sont : le plomb carbonaté et phosphaté, des terres ocreuses argentifères et la blende. Les plus riches de ces filons sont situés près de Morlaix, à Poullaouen et à Huelgoat, où l'on a fait exécuter des travaux considérables. Le filon de Poullaouen, dirigé du N. 22° O. au S. 22° E., coupe les couches de grauwacke en plongeant de 45° vers le N. E.; sa direction a été suivie par les travaux souterrains sur une longueur de 1,500 mètres, et son inclinaison jusqu'à une profondeur verticale de 250 mètres. Ce filon est très-ramifié, et on a exploré jusqu'à cinq de ses branches doht la puissance est de 3 à 5 mètres; la somme des écartements du terrain est donc de 15 à 20 mètres. Les roches encaissantes sont en très-grande proportion dans le remplissage du filon, qui, en certains points, a l'apparence d'un filon en stockwerk.

On a reconnu près de là quelques filons de composition analogue, notamment dans les schistes argileux d'Huelgoat, où l'on a exploité un filon puissant, sur 1,000 mètres de direction et 270 mètres de profondeur. Ce filon plonge de 70° vers le N. E. et a donné des produits supérieurs à ceux de Poullaouen, car on y trouvait non-

seulement la galène argentifère, mais encore une assez grande proportion de terres rouges et ocreuses contenant $\frac{1}{1000}$ d'argent à l'état natif et à l'état de chlorure.

Le produit annuel de ces deux filons s'est élevé jusqu'à 300 tonnes de plomb et 1,400 kil. d'argent ; aujourd'hui elles sont à peu près abandonnées.

A Pontpéan, près Rennes, un filon contenant de la galène argentifère mélangée de blende a été exploité jusqu'à la profondeur de 130 mètres, sur environ 300 mètres de direction. Ce filon, incliné à 80°, est dirigé N. S. Vers la fin du dix-huitième siècle, il produisait, année commune, 7,000 quintaux métriques de galène argentifère; la blende, en quantité supérieure à la galène, était alors rejetée dans les remblais. L'exploitation abandonnée à cause des difficultés que présentait l'épuisement des eaux, a été reprise il y a quelques années ; elle fournit actuellement plus de 1,000 tonnes de minerais en blende ou galène.

Il existe encore des filons de galène argentifère à Châtelaudren, près de Saint-Brieuc; ils ont été abandonnés depuis 1790 par suite d'un appauvrissement en profondeur. Quant aux autres gîtes plombifères connus sur plusieurs points de cette vaste superficie de transition, il ne paraît pas qu'aucun d'eux ait assez d'importance pour donner lieu à quelque chance de reprise.

Les principaux gîtes métallifères connus et non exploités dans ce premier district sont :

Manche. Mine de mercure au Menildot, commune de la Chapelle-en-Suger ; elle a été exploitée à trois reprises dans le siècle dernier, et a donné des produits notables de 1730 à 1742.

Mines de galène blende et calamine, sur plusieurs points de la pointe du Cotentin, notamment à Pierreville, exploitées de 1788 à 1790.

Loire-Inférieure. Mine d'étain à Pyriac, sur le bord de la mer. Recherches de 1819 à 1827.

Côtes-du-Nord. Filon de galène argentifère à Châtelaudren. Abandon de la concession en 1790.

Vendée. Mine d'antimoine à la Ramée, commune de Bonpère. La renonciation du concessionnaire est de 1818.

Deux-Sèvres. Mines de galène argentifère à Melle et aux environs ; il y existe d'immenses travaux dont la date n'est pas connue.

Le *massif des Vosges* est, de tous les districts métallifères de France, celui qui pourrait présenter les chances les plus favorables à des travaux de reprise. Les filons de plomb argentifère, à la fois nombreux et puissants, y forment le trait principal de la richesse métallique.

Ces gîtes, ouverts de temps immémorial, fournissaient encore des produits considérables dans le courant du siècle dernier; ils sont aujourd'hui presque tous abandonnés par suite de l'envahissement des eaux, et l'on ne pourrait y rentrer avec profit qu'après des dépenses assez considérables. Lorsque la facilité des premières exploitations donnait lieu à de grands bénéfices, une partie de ces bénéfices, placée chaque année en travaux de prévoyance, eût assuré l'avenir de ces mines; mais presque toutes les anciennes exploitations de France n'existent plus que pour accuser les fautes du passé. Que l'on suppose ce district des Vosges entre les mains des populations du Hartz ou de la Saxe, et sans aucun doute il eût été maintenu en exploitation, car les gîtes métallifères de l'Allemagne n'ont actuellement de valeur que par l'aménagement intelligent qui les soutient depuis des siècles.

Les environs de Sainte-Marie-aux-Mines renferment un grand nombre de filons de galène argentifère, dont le principal est celui de Lacroix, célèbre par sa puissance, qui est de 20 mètres, et par des exploitations de plusieurs siècles poussées sur une étendue de plus de 4 kilomètres. Le filon de Lacroix-aux-Mines traverse la montagne de Saint-Jean à 16 kilomètres de Sainte-Marie; il court N. S., inclinant un peu à l'est, à peu près parallèlement à la jonction du gneiss et de la montagne de syénite qui le sépare des filons de Sainte-Marie. La masse du filon est principalement formée de débris de toute espèce, et le minerai y affecte des allures très-variables; disséminé en veines de 0^m10 à 0^m20 et jusqu'à 1 mètre de puissance, qui soudent ces débris entre eux, les traversent et forment ainsi une sorte de stocwerk; d'autres fois, rassemblé en nœuds et en amas. Ce minerai consiste en galène argentifère et en plusieurs minerais annexes, tels que le phosphate de plomb, l'argent rouge, l'argent natif. La galène contenait en moyenne $\frac{1}{2000}$ d'argent. Les travaux réguliers, suivis par une galerie jusqu'à la limite de l'écoulement naturel des eaux, n'ont

été poussés qu'à une faible profondeur au-dessous des vallons voisins. Ce filon a eu des périodes extrêmement productives; on a trouvé beaucoup d'argent natif dans sa partie supérieure; on en a cité des morceaux de 30 kilogrammes et au delà. En 1756, il fournissait encore 12,000 quintaux métriques de plomb et 1,460 kilogrammes d'argent. Dans l'opinion des ingénieurs qui dirigeaient les travaux, le filon s'était appauvri aux niveaux inférieurs, cet appauvrissement résultant de la disparition des minerais d'argent et de la prédominance exclusive de la galène.

Près de Sainte-Marie, les filons de galène argentifère sont nombreux, mais moins puissants; ils traversent les gneiss, vers leurs conctact avec les granites, c'est-à-dire dans une position symétrique à celle du filon de Lacroix. Deux de ces filons ont été exploités sur une grande longueur; ce sont ceux de Surlatte et de l'Espérance. Le filon de Surlatte a présenté une bifurcation remarquable en deux branches qui, après avoir longtemps couru parallèlement, ont fini par se rejoindre. La galène y était un peu moins riche qu'aux mines de Lacroix.

Sur la croupe méridionale des Vosges, Giromagny est un autre centre de filons métallifères qui ont été l'objet d'exploitations actives, puis abandonnées, et sont actuellement reprises. Ces filons traversent, suivant la direction N. S., des schistes argileux et des porphyres.

A Saint-Jean-d'Auxel, il existe un faisceau de trois filons, courant l'un sur midi, le second vers onze heures, le troisième vers dix, dont la gangue est de quartz et de chaux carbonatée tenant de la galène argentifère disséminée. Les travaux ont été très-considérables en ce point, et étagés sur une hauteur de 800 mètres; ils étaient encore ouverts en 1779.

Les filons continuent à se montrer tant que les syénites et les porphyres sont visibles. A Plancher-les-Mines, à Fresse, à Ternuay, dans la Haute-Saône, on connaît dix filons à gangues de quartz, de chaux carbonatée et de chaux fluatée, contenant, outre la galène argentifère, du cuivre gris et des pyrites. Ces minerais sont disséminés dans les gangues par bouillons et colonnes, disait Gensanne, qui les a exploités le dernier et qui a donné beaucoup de détails sur leur composition.

L'ensemble du massif des Vosges présente donc deux systèmes de filons : l'un, dirigé N. S., comprend les principaux filons de galène argentifère; l'autre, dirigé à peu près E. O., comprend, outre des filons de galène, un grand nombre de filons à gangues de quartz, chaux carbonatée et spath-fluor, caractérisés, comme minerais, par le cuivre gris, la galène argentifère, l'argent sulfuré, le cobalt arsenical, l'arsenic natif et des pyrites quelquefois aurifères. Ces filons, dont le cuivre gris forme le trait principal, sont liés aux mêmes roches que les premiers; il est à remarquer cependant que, dans le groupe central où les granites et les syénites dominent, les filons se rattachent plus ordinairement au premier système, tandis que, vers la lisière des montagnes, là où les porphyres et les diorites se montrent prédominants, les filons cuprifères dominent ceux de galène. C'est ce qui a lieu pour les filons métallifères de Giromagny.

La liaison fréquente de ces deux systèmes de filons paraît se rattacher à une sorte de contemporanéité des différentes émanations métallifères. Ainsi, de même qu'à la limite de deux formations géognostiques différentes on remarque très-souvent des alternances entre les couches caractéristiques de ces deux formations; de même, on voit une sorte d'alternance et d'oscillation entre les filons de cuivre gris argentifère des Vosges et les filons de galène. Il existe donc des filons mixtes, contenant à la fois du cuivre gris et de la galène, de telle sorte qu'on ne saurait dire auquel des deux systèmes ils doivent être assimilés de préférence.

Les mêmes rapprochements existent entre les roches cristallines liées à l'existence des filons métallifères : les relations qui unissent entre eux les filons cuprifères et plombifères se retrouvent entre les syénites porphyroïdes ou granitoïdes de Sainte-Marie, et les porphyres feldspathiques ou amphiboliques de Plancher-les-Mines, Giromagny, Ternuay, etc.

Le cuivre gris argentifère constitue, dans le district de Sainte-Marie-aux-Mines, le filon de Phaunoux, qui a été très-suivi en même temps que les filons de galène de Surlatte et de l'Espérance; le cuivre gris y était accompagné de cobalt arsenical et d'arsenic natif testacé dont on tirait également parti. Ce filon de Phaunoux fait partie, ainsi que les filons de Surlatte et de l'Espérance, du système E. O.

A Giromagny, les filons de Selschaft, Saint-Martin, Sainte-Barbe et Saint-Urbain, présentaient de la mine à bocard composée de cuivre gris argentifère, sulfure d'argent et galène. A Saint-Daniel, situé au revers de la montagne d'Auxel, du côté qui regarde Giromagny, les schlicks qui provenaient des minerais rendaient, en 1780, au quintal (de 50 kilog.), 18 livres de cuivre, 3 et 4 onces d'argent et une petite quantité de plomb.

Les montagnes qui séparent Plancher-les-Mines de Giromagny sont sillonnées d'un nombre considérable de filons qui les traversent en tous sens et qui tous contiennent des minerais de cuivre, de plomb et d'argent.

Le massif des Vosges renferme encore un assez grand nombre de mines de fer dont le gisement se rapporte à la classe des gîtes irréguliers. Le principal de ces gîtes est contenu dans la montagne de Framont, vers le contact d'une masse porphyrique centrale avec les couches de schistes et de calcaire que cette masse a fortement relevées. Dans cette position, le peroxyde rouge de fer, mélangé de fer oligiste cristallin, forme un véritable filon de contact de 5 à 10 mètres de puissance, et dont la direction contourne le porphyre. En étudiant les profondes excavations qui ont été faites dans ce gîte, on ne peut s'empêcher de le considérer comme une véritable cheminée remplie par des émanations métallifères qui ont pénétré les roches en contact et qui y ont intercalé des minerais par des phénomènes analogues à ceux que nous avons signalés à l'île d'Elbe. Pour compléter l'analogie, les calcaires traversés par le minerai sont transformés en marbres cristallins, et passent même aux dolomies grenues et cristallines.

Sur beaucoup d'autres points que ceux que nous avons mentionnés, le massif des Vosges contient encore des gîtes métallifères; ceux qui sont les mieux connus et dont quelques-uns pourraient probablement être repris avec chances de réussite sont :

Moselle. Mine de plomb de Saint-Avold. Communes de Saint-Avold, de Hargarten-aux-Mines et Falck. (Les travaux considérables auxquels ces mines ont anciennement donné lieu ont été repris quelque temps avant 89 et abandonnés faute de bénéfices. Les anciens travaux sont à sec et parfaitement conservés.)

Mines de cuivre. Commune de Longeville. (On ignore l'époque de

l'abandon. On y a fait, il y a quelques années, des recherches qui n'ont pas eu de suite.)

Mine de cuivre. Commune de Falck. (Abandonnée depuis longtemps.)

Bas-Rhin. Mine de cuivre et d'argent de la Goutte-du-Moulin. Commune d'Urbeis. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre du château du Champ-Brêcheté. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Travaux fort étendus.)

Mine de cuivre et plomb des Coltes. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Travaux qui paraissent avoir eu peu d'extension.)

Mine de plomb de la Goutte-Henri. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après, faute de capitaux. Travaux peu étendus.)

Mine d'argent d'Aptaingoutte. Même commune. (Abandonnée depuis très-longtemps. Filon puissant, mais pauvre.)

Mine de cuivre, plomb et argent de Saint-Nicolas. Même commune. (Abandon très-ancien. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après.)

Mine de plomb de la Chapelle. Même commune. (Abandon très-ancien. Reprise en 1780. Abandonnée deux ans après.)

Mine d'antimoine. Commune de Carpe. (Reprise et abandonnée plusieurs fois jusqu'en 1805.)

Mine de plomb et argent. Commune de Delalaye.

Mine de plomb du chemin de Charpe. (Abandonnée il y a environ trente ans, faute de capitaux.)

Mine de plomb et argent. Commune de Tiembach. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de manganèse. Même commune. (Abandonnée depuis environ vingt ans. Elle était exploitée par des paysans.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Borsch. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de plomb et argent. Commune d'Orschwiller. (L'époque de l'abandon est inconnue. Travaux peu étendus.)

Mine de plomb et argent de Jægerthal. Commune de Niederbronn. (Ouverte et abandonnée à plusieurs reprises jusqu'en 1824.)

Vosges. Mines de cuivre. Commune de Bussang. (Une partie de ces mines est vierge, l'autre a été très-anciennement exploitée. On voit encore les vestiges d'une ancienne galerie d'écoulement.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Tillot. (Exploitation longue et considérable qui a fini en 1761, faute de moyens d'épuisement. Susceptible d'être reprise, suivant les avis donnés en 1785 par plusieurs ingénieurs.)

Mine de plomb, cuivre et argent. Commune de Rememont. (Exploitée fort anciennement pour le compte des ducs de Lorraine. On y a fait, en 1755, quelques recherches qui n'ont pas eu de suite.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Lubine. Les haldes annoncent une exploitation notable. L'abandon a eu lieu dans le milieu du siècle dernier.)

Mine de cuivre et d'argent. Commune de Fresse. (Abandonnée en 1734 à cause de l'abondance des eaux.)

Mine de plomb et cuivre. Commune de Fresse. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre. Commune de Saint-Maurice. (Abandonnée en 1761 ; on en ignore la cause.)

Mine de plomb, zinc, cuivre et argent. Commune de Lusse. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de plomb, cuivre et argent. Commune de Gernaingouttes. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Wildersbach. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de cuivre du haut Perheux. Même commune. (Abandonnée de temps immémorial.)

Mine de manganèse. Même commune. (Reprise il y a environ deux ans et abandonnée peu de temps après à cause de l'affluence des eaux.)

Haut-Rhin. Mines de cuivre, plomb et argent de Giromagny, du Puits et d'Auxelle. Communes de Giromagny, du Puits et d'Auxelle. (Elles offrent 43 filons. L'exploitation a eu trois époques très-florissantes, savoir : au quatorzième siècle, au seizième et au commencement du dix-huitième. L'abandon a eu lieu en 1790 ; la concession vient d'être reprise de nouveau.)

Mines de cuivre, plomb et argent de la vallée de Saint-Amarin. Communes de Saint-Amarin, Orlé et Mosch. (Abandonnées en 1760. Anciennement productives. La plupart des travaux, étant en roche très-dure, sont conservés.)

Mine de plomb, cuivre et argent de Silberthal. Commune de Steinbach. (Abandonnée vers 1750.)

Mines de cuivre et argent de la vallée de Soultzmatt. Commune d'Osenbach. (Depuis très-longtemps abandonnées. Reprises en 1750 et abandonnées peu de temps après, faute de capitaux.)

Mine de cuivre et argent. Commune de Munster. (Abandonnée au commencement du dix-huitième siècle.)

Haute-Saône. Mines de plomb, cuivre et argent. Commune de Plancher-les-Mines. Elles se composent de sept filons qui ont été exploités longtemps avec bénéfice. (L'abandon a eu lieu en 1760.)

Mine de cuivre. Commune de Château-Lambert. (Abandonnée en 1758, par suite de travaux mal conçus. Elle avait été anciennement productive.)

Mine de plomb du Baudy. Commune de Château-Lambert. (L'époque de l'abandon est inconnue. On a voulu la reprendre, il y a une soixantaine d'années, au moyen d'une galerie d'écoulement qui n'a point été achevée, mais qui a été poussée très-avant.)

Mine de plomb. Commune de Faucogney. (Ouverte en 1755 et abandonnée quelques années après.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Bresson. (L'époque de l'abandon est inconnue. Elle a été momentanément reprise il y a environ 70 ans.)

Mine de cuivre, plomb et argent. Communes de Tannay et de Vannes. (L'époque de l'abandon est inconnue. Elle a été momentanément reprise il y a environ 70 ans.)

Mine de manganèse de Chauvillerain. Commune de Faucogney. (Abandonnée il y a environ 20 ans.)

Le *plateau de la France centrale*, massif de terrain schisteux et granitique qui domine le centre de la France et comprend les montagnes du Forez, de l'Auvergne, des Cévennes et de la Lozère, renferme un très-grand nombre de filons caractérisés par la galène argentifère.

Beaucoup de ces filons ont été exploités et deux centres d'extraction subsistent encore : l'un à Pont-Gibaud, dans le Puy-de-Dôme ; l'autre à Vialas et Villefort au pied de la Lozère.

Les principaux filons exploités autour de Pont-Gibaud sont contenus dans un terrain de stéaschistes et de micaschistes ; leur puissance moyenne est d'un mètre. Leur direction N. S. est remarquable en ce qu'elle concorde avec la direction de tous les accidents du sol dans la contrée. Ainsi le soulèvement granitique qui domine Clermont suit une direction N. S., direction à laquelle sont également assujetties les éruptions trachytiques qui forment le Cantal, les monts Dores et les monts Domitiques, les éruptions basaltiques et volcaniques qui forment la chaîne des Puys, enfin, tous les filons métallifères de la contrée.

La série de ces filons, qui comprend aussi plusieurs époques, commence aux exploitations d'antimoine d'Engle, se continue par des filons cuprifères parallèles signalés au pied de la montagne de Bauson, par les filons de galène argentifère qui ont été exploités à

Roure, Rosier, Mioche, Blot-l'Église, et par ceux de Pranal, Barbecot, Combrès, etc., qui suivent également la même direction N. S. Cette coïncidence de direction dans tous les accidents du sol qui ont été produits à des époques diverses, soit par soulèvement, soit par émission de roches ignées, soit par cassures et émanations métallifères, fait d'ailleurs assez fréquent, est nettement accusé dans cette contrée.

Les filons de l'Auvergne présentent encore une association remarquable avec des porphyres identiques aux porphyres métallifères de tant d'autres régions. Ces porphyres se retrouvent constamment le long de la zone métallifère ; ils traversent les granites et les schistes sous forme de dykes qui marchent avec les filons. Un des filons de Pranal a pour épontes, d'un côté le micaschiste, de l'autre le porphyre ; fait qui indique l'antériorité de ces porphyres, qui sont, en effet, croisés plusieurs fois par les filons avec lesquels ils marchent.

Les filons de cette contrée ont pour gangue principale des débris du toit et du mur, des matières argileuses et le sulfate de baryte ; la galène y est à petites facettes, et contient jusqu'à $\frac{1}{1000}$ d'argent. On y rencontre quelques substances subordonnées, telles que le plomb carbonaté et phosphaté, la blende, la bournonite.

Depuis plus de dix ans, les mines de Pont-Gibaud sont exploitées par une compagnie anglaise, sous la direction de Richard Taylor. Les produits en ont été développés par des travaux conduits avec persévérance, et les résultats obtenus sont de nature à confirmer l'opinion déjà émise, que bien de gîtes métallifères, aujourd'hui abandonnés, pourraient être utilement repris et exploités.

Beaucoup d'autres filons de galène argentifère existent en Auvergne, notamment aux environs de Thiers, où l'un d'eux est très-utilement exploité.

Les montagnes d'Ambert, qui dominent à l'ouest la petite vallée de la Dore, en renferment qui ont donné lieu à des travaux intéressants. A Saint-Amand-Roche-Savine, à Giroux, près Olliergue, les filons présentent une composition analogue à celle des filons du Pont-Gibaud ; la galène y est un peu moins riche, mais elle est assez abondante, et les gangues sont d'un abatage facile.

Plus au sud, dans les montagnes qui dominent Jumeaux et don

le suc d'Esteil forme la cime principale, se trouvent un grand nombre de filons à gangue uniquement quartzeuse, souvent améthysée, contenant la galène à facettes très-fines qui contient jusqu'à $\frac{3}{1000}$ d'argent. Mais cette galène est extrêmement disséminée, et la dureté du quartz en rend l'exploitation coûteuse.

Vers le centre du plateau, les pegmatites et les granites à grandes parties se lient à des gîtes métallifères qui pourraient un jour présenter de l'intérêt. On y trouve l'oxyde d'étain, la tantalite, le wolfram, etc.

Dans la Haute-Vienne, les mines d'étain de Montebras et de Vaulry ont été reprises depuis plusieurs années et donnent quelques espérances de succès. La nature stannifère du sol est démontrée par les alluvions qui ont été exploitées sur plusieurs points des environs, mais les gîtes eux-mêmes sont-ils directement exploitables ? Telle est la question que des travaux suivis avec persévérance peuvent résoudre heureusement. La présence du wolfram, dans ces divers gîtes, peut encore contribuer à leur mise en valeur.

Depuis quelques années, plusieurs filons de l'Aveyron ont été l'objet de travaux de reprise ; on y a distingué : 1° les filons anciens qui paraissent liés aux porphyres et sont caractérisés par des galènes à fines facettes, très-argentifères, et par des quartz saccharoïdes ; les autres gangues ou minerais, tels que la baryte sulfatée, la chaux carbonatée, le fer spathique, le cuivre pyriteux et la bournonite, étant de simples accidents ; 2° des filons plus modernes qui se rapportent aux serpentines de Najac et de Milhau, et sont caractérisés soit par des quartz hyalins un peu gras, des carbonates de fer et de chaux, des galènes moins riches que les précédentes, du cuivre pyriteux et de la bournonite, soit par des quartz compactes associés à la baryte sulfatée.

Le massif de la Lozère contient des gîtes exploités et dont les produits pourraient encore être développés.

Les mines de Vialas et de Villefort ont découvert une douzaine de filons dont les directions différentes annoncent plusieurs époques de formation. Ces filons sont réunis en faisceau au contact du gneiss et du granite ; l'ensemble du terrain métallifère fait partie du manteau de gneiss et micaschiste qui entoure les sommités granitiques

du mont Lozère. Les gangues sont le quartz, la chaux carbonatée et la baryte sulfatée ; la galène argentifère y est disséminée en rognons, mélangée de pyrite cuivreuse et de blende.

Sur plusieurs points du Gard, et notamment au Collet, des filons se montrent avec les mêmes caractères.

Dans l'ensemble de cette contrée, la classe des filons antimonifères paraît très-distincte par son âge et sa composition. Elle est représentée par des filons à gangues quartzeuses, dont la puissance dépasse rarement un mètre, et dans lesquels le sulfure d'antimoine se montre seul comme minerai. Ces filons s'isolent en outre par des directions et des inclinaisons spéciales. Leur composition est simple ; le minerai y est accumulé en veines, nodules cristallins, druses, etc., plutôt que disséminé ; les minerais associés, qui sont principalement des oxydes d'antimoine, paraissent y résulter d'épigénies postérieures à leur formation.

Les filons des Cévennes se trouvent presque toujours dans le terrain de gneiss et de schistes qui recouvre les masses granitiques formant les points culminants de la contrée. C'est vers ses contacts avec les roches ignées qne le terrain schisteux devient métallifère ; ce fait, déjà signalé pour le groupe des filons de galène de Vialas et Villefort, existe également pour les filons antimonifères qui se montrent à Malbosc. Ces filons sont composés de quartz ; quelquefois ils contiennent de la chaux carbonatée, rarement du sulfate de baryte ; leurs salbandes sont argileuses. Ils se dirigent à peu près E. O., inclinant de 25° à l'est. L'antimoine sulfuré s'y montre en veines compactes ou filets suivis, ayant moyennement 0m10 d'épaisseur : cette épaisseur est variable dans le même filon, et elle atteint, dans un des trois qui sont exploités, jusqu'à 0m30. On y trouve aussi l'antimoine oxydé par taches fibreuses rayonnées.

Des travaux importants ont été entrepris sur des gîtes de fer sulfuré ; l'exploitation de ces pyrites alimente les fabriques d'acide sulfurique de Salindres, et l'on est arrivé à en extraire 35 ou 40 mille tonnes par année.

Les gîtes sont alignés suivant une faille reconnue sur une longueur de trois lieues, qui traverse les couches fortement redressées du trias et du terrain jurassique. Ce sont des amas ou filons

de contact, dont les renflements présentent des puissances métallifères de plus de dix mètres.

Les minerais consistent en pyrites de fer, galène, oxydes de fer et calamines. A Pallières, on a exploité des sulfates de plomb compris entre une zone de pyrite et une zone de galène, ainsi que l'indique la coupe ci-après.

Cette transformation des sulfures en sulfates s'est également exercée sur la pyrite de fer dont certaines parties passent à des sous-sulfates radiés asbestoïdes. Ces sous-sulfates de fer ont été trouvés au toit des zones de pyrite, de même que les sulfates de plomb forment le toit de la galène. Les actions qui ont déterminé ces transformations ont dû être très-lentes, car on a trouvé des fragments de sulfates de plomb terreux, au centre desquels la galène, altérée, se reconnaissait encore.

Le gîte principal de Pallières peut être cité comme un des types les plus complets. C'est un amas de contact dont la forme lenticulaire est spécifiée par la coupe verticale figure 43.

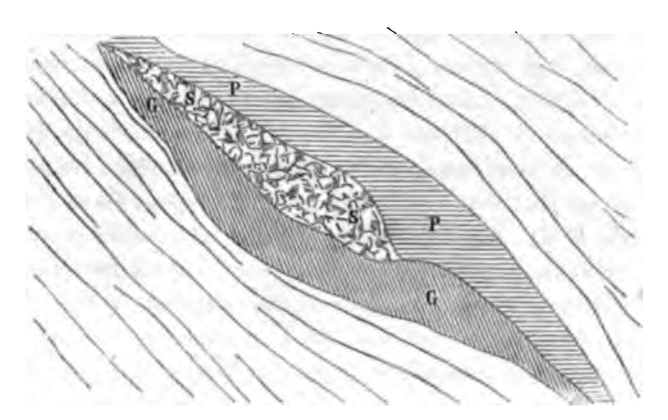


Fig. 43. — Coupe verticale du gîte de Pallières.

On voit dans cette coupe que la galène GG occupait la base du gîte, tandis que la pyrite PP occupait la partie supérieure; les sulfates SS étaient au centre. Les sulfates de plomb étaient blancs terreux et sans consistance; les sous-sulfates de fer généralement terreux, parfois fibreux et asbestoïdes.

Les sulfates de plomb, traités dans l'usine de la Pise, ont d'ail-

leurs fourni des plombs argentifères au même degré que ceux qui provenaient des galènes, c'est-à-dire au titre de 0,0002.

Ces émanations métallifères, postérieures aux dépôts jurassiques, dataient en réalité du commencement de cette période ; car, sur plusieurs points, dans le département du Gard, et notamment à Carnoulès, il existe des poudingues et brèches, appartenant à la base de trias, qui sont pénétrés de galène comme les grès triasiques de l'Eiffel.

Les gîtes de contact du Gard semblent faire partie d'une zone métallifère qui, depuis le département de l'Hérault, suit la lisière est du plateau central. Ainsi, on trouve sur cette lisière les anciennes exploitations de Cabrières, les gîtes de Chessy et Saint-Bel, les gîtes manganésifères de Romanèche, les filons plombifères de Beaujeu, Nussières, etc.

Les mines de Cabrières (Hérault), ont été ouvertes dans des gîtes situés vers le contact du devonien et des schistes de transition. Elles présentent des excavations en partie obstruées par des stalactites calcaires qui attestent leur antiquité, et par les déblais qui attestent des travaux importants. Étudiées par M. Graff, elles ont été reconnues comme ouvertes dans des filons de contact qui contenaient du cuivre gris. Il n'est pas probable que les travaux d'une époque aussi reculée aient pu être poussés à de grandes profondeurs, et leur reprise présenterait un intérêt réel.

Au contact des schistes de transition et du lias, on a exploité à Chessy, près Lyon, des minerais de cuivre qui ont fourni les plus beaux échantillons cristallisés de cuivre oxydulé et de cuivre carbonaté. Le gisement de ces minerais était dans des conditions tout à fait spéciales.

Des schistes de transition presque verticaux, et dans un état métamorphique des plus prononcés, contiennent des amas lenticulaires de pyrite de fer mélangé de pyrite de cuivre. Au contact des schistes métamorphiques et d'un terrain arénacé schisteux, que l'on suppose le lias altéré, se trouvait une zone de pyrite cuivreuse décomposée, dite mine noire; puis au-dessus, à une certaine distance dans les grès et argiles endurcies et alternées, des amas et veines de contact, c'est-à-dire suivant des plans de stratification, contenant les oxydes et les carbonates. Ces gîtes furent assez rapide-

ment épuisés, ils disparurent en profondeur et furent considérés comme résultant de réactions et de phénomènes spéciaux, rapprochés de la surface. L'exploitation se porta sur les pyrites pauvres, qui plus loin, vers Saint-Bel, prend une importance toujours croissante; on en extrait actuellement 60,000 tonnes de pyrite de fer, et 4 à 5,000 tonnes de pyrite un peu cuivreuse, fournissant environ 200 tonnes de cuivre de cémentation. Sous cette forme nouvelle, les mines de Saint-Bel et Chessy ont plus d'importance industrielle que les beaux gîtes cuprifères d'autrefois; mais les grandes masses de pyrite n'ont pu remplacer comme intérêt de gisement et d'études les minerais cristallins et subordonnés qui ne se retrouvent plus que dans les collections.

Les gîtes de Romanèche près Mâcon sont en *chapelets*, et placés au contact des granites et du lias; ils forment une série d'amas qui présentent l'oxyde de manganèse concrétionné, et accidentellement du fer arseniaté. Ces remplissages sont ramifiés sur plusieurs points, dans les granites, où ils forment des veines et filons peu continus.

La nature métallifère des terrains accidentés qui, près de Mâcon forment l'accroissement occidental du Rhône, est attestée par de nombreux filons plombifères; le centre le plus intéressant se trouve aux environs de Beaujeu, où l'exploitation de plusieurs filons, reprise il y a quelques années, a démontré une fois de plus que les anciennes mines pouvaient être utilement remises en activité, lorsqu'on y consacrait des capitaux suffisants pour l'exécution des travaux préparatoires et pour l'épuisement des eaux.

La liste suivante comprend une série de gîtes sur lesquels on possède encore des documents et dont un certain nombre pourraient être repris.

Côte-d'Or. Mine de plomb argentifère. Commune d'Aligny. (Exploitée très-anciennement; a été l'objet de quelques tentatives en 1732 et en 1734. On y voyait encore, en 1774, une galerie très-étendue.)

Nièvre. Mines de plomb argentifère. Commune de Chitry-les-Mines. (Ces mines ont donné lieu à l'une des plus considérables exploitations de France. Découvertes en 1493, leur extraction a été abandonnée vers le milieu du dix-septième siècle. Leur existence et leur grande importance sont attestées par dix édits, enregistrés, pour la

plupart, au parlement de Paris, dont le premier date de 1493, et le dernier de 1599.)

Mine de plomb, commune de Saint-Reverien. (On ignore si ce gîte a été exploité anciennement. Des recherches ont été faites il y a quelques années.)

Mine de plomb et argent. Commune de Saint-Didier. (Abandonnée depuis fort longtemps. Elle a été exploitée dans le même temps que les mines de Chitry.)

Indice de mine de plomb argentifère. Commune de Frauchy. (Découverte vers 1775. On y a fait, en 1785, quelques travaux qui donnaient des espérances.)

Mine de plomb de Ganiez. Communes de Glux et Saint-Prix. (Découverte en 1782. On y a fait alors des travaux.)

Mine de plomb de Crieur. Commune d'Aunay. (Epoque de l'abandon inconnue.)

Mine de cuivre et plomb. Commune de Montceau. (Abandonnée depuis très-longtemps. Son existence est principalement attestée par des scories très-riches en cuivre et en plomb.)

Saône-et-Loire. Mine de plomb. Commune d'Oyé. (Plusieurs filons sur lesquels il a été fait quelques recherches peu suivies il y a un certain nombre d'années.)

Mine de plomb. Commune de Gueugnon. (On y a fait quelques recherches il y a environ 60 ans.)

Mines de plomb. Commune de Saint-Christophe.

Mine de plomb. Commune de Saint-Prix. (Découverte en 1782. On y a entrepris quelques travaux de recherches abandonnés peu de temps après.)

Mines de chrome oxydé vert des Écouchets. Commune de Saint-Pierre-de-Varennes. (A été l'objet de quelques travaux d'extraction qui ont duré pendant plusieurs années et qui ont fini en 1813.)

Allier. Mines d'antimoine. Commune de Bresnay. (Exploitées et abandonnées dans le cours du siècle dernier.)

Mines d'antimoine. Commune du Jardinet. (Exploitées et abandonnées dans le cours du siècle dernier.)

Mine d'antimoine. Commune de la Petite-Marche. (Depuis longtemps abandonnée. On croit que l'abandon ne tient point à son épuisement.)

Mine de plomb. Commune de Nizerolle.

Puy-de-Dôme. Mine de plomb argentifère. Saurière près d'Issoire. (Époque de l'abandon inconnue. On y fait des recherches.)

Mine de plomb de Saint-Amand-Roche-Savine près d'Ambert, et de la Brugère près d'Esteil; abandonnées en 1830,

Mine de fer. A Compains. (Abandonnée il y a environ un siècle faute de bois.)

Mines de plomb. Youx et Masboutin, près de Montaigu. (Exploitées vers 1730, reprises vers 1775, et abandonnées, faute de capitaux, quelques années après.)

Rhône. Mines de plomb de Boussière et de Valetier. Communes de Tarare et de Joux. (Travaillées et successivement abandonnées en 1748, en 1813 et en 1819.)

Mine de plomb. Commune de Bressieu. (Abandonnée en 1776 à cause de la rareté des produits.)

Mine de plomb. Commune des Propières. (Exploitée anciennement; plusieurs fois reprise et abandonnée; elle est en ce moment l'objet de nouvelles recherches.)

Mine de plomb. Commune de Chasselay. (Abandonnée en 1780.)

Mines de plomb du Fenoyl, de la Fouillouse, de Chambost, de la Tour, de Sainte-Paule, d'Étra. Communes des Halles, de Juliennes, de Chambost, de la Tour-Salvagny, de Sainte-Paule, d'Étra.

Mine de plomb de la Maison-Blanche. Commune de Vaugneray. (Quelques recherches furent faites il y a 25 ans.)

Mines de plomb de Chaponost. Commune de Chaponost. (Quelques recherches furent faites il y a 25 ans.)

Mine de plomb de Dizinieu. Commune de Louges. (L'existence d'un puits atteste qu'on y a fait anciennement des recherches.)

Mine de cuivre sulfuré. Commune de Chavayzoles. (La compagnie des mines de Chessy et Saint-Bel, a fait anciennement des recherches qui ont été abandonnées en 1784.)

Vienne. Mine de plomb. Près de Sanxais. (L'époque de l'abandon est inconnue. On n'a fait qu'effleurer la tête des filons.)

Mine de plomb près le Vigean. (On ignore l'époque de l'abandon. La tradition porte que les recettes n'ont pas couvert les dépenses.)

Hérault. Mines de cuivre de Cabrières, près Neffiès, récemment explorées par M. Graff.

Haute-Vienne. Mine de plomb un peu argentifère. Commune de Glanges, de Saint-Genêt et de Vic. (Exploitée avec des chances diverses depuis 1724 jusqu'à la Révolution.)

Mines d'antimoine. Communes de Coussac-Bonneval et de Glandon, arrondissement de Saint-Yrieix. (Abandonnées en 1812, après avoir été irrégulièrement exploitées pendant 50 ans.)

Mine d'étain. A Vaulry. (Exploitée par les anciens. L'administration y a fait exécuter des recherches à plusieurs reprises, depuis 1819.)

Corrèze. Mine de cuivre carbonaté vert et bleu, mélangé de sulfure de cuivre et de cuivre rouge. Montagne des Forges. Commune de Louignac. (Quelques recherches ont été faites en 1823 et abandonnées à cause de l'irrégularité du gîte.)

Indice de mine d'étain. A Ségur. (Trouvé il y a 60 ans.)

Mine de plomb à Mercœur. (D'anciens renseignements parlent de cette mine comme renfermant plusieurs filons. Dans le cours de la Révolution, elle a été l'objet d'une demande en concession qui n'a pas eu de suite.)

Mine de plomb. Commune de Moustier-Ventadour. (Paraît avoir été abandonnée un peu avant 1765, à cause de la mauvaise exploitation et de la modicité du produit.)

Gard. Sables et terres aurifères. Aux environs de Saint-Ambroix et de Malbosc, dans le lit de la Cèze et de la Gagnère, dans celui de plusieurs ruisseaux affluents, ainsi que dans une partie des terrains cultivés qui forment les bassins de ces deux rivières. (La cueillette de la poudre d'or, anciennement très-productive, n'est plus pratiquée que par quelques paysans.)

Mines d'antimoine. Près de Cessous. (Des travaux ont été ouverts il y a quelques années et abandonnés faute de produits suffisants.)

Mine d'antimoine de Coignas et Latrau. Commune de Portes. (Abandonnée en 1824 après plusieurs années d'exploitation. Minerai peu abondant et de médiocre qualité.)

Mine de plomb et argent. Commune de Laval. (Il existe un immense tas de déblais sur le terrain.)

Lozère. Mines de plomb et argent de Saint-Sauveur. Communes de Meyrueis et Gatuzières (Lozère), et Saint-Sauveur (Gard). (Exploitées très-anciennement ; reprises en 1755 sur un grand pied, abandonnées en 1789. Renonciation à la concession le 13 mai 1822. Ces mines sont décrites dans le tome VIII des *Annales des Mines*, pages 474 et suivantes. Elles se composent d'un grand nombre de filons en général bien réglés.)

Mine d'antimoine de Téraillon. Commune de Saint-Martin-de-Loubaux. (Abandonnée depuis peu de temps à cause de la pauvreté du gîte.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Michel-de-Dèze. (On ignore l'époque et la cause de l'abandon.)

Mine de plomb. Commune de Cassagnas. (L'époque de l'abandon est inconnue. Un bocard et des restes de bâtiments indiquent une exploitation d'une certaine importance.)

Dordogne. Mine de plomb. Commune de Nontron. (Des tentatives d'exploitation faites à différentes époques, et dont la dernière a eu lieu en 1823, n'ont eu aucune suite.)

Mine de plomb. Commune de Saint-Martin. (Dans une tentative faite en 1824, on a dépensé environ 4,000 francs. La recette a été d'environ 700 francs).

Mine de manganèse. Commune de Milhac de Nontron. (Fouilles à ciel ouvert abandonnées depuis quelques années.)

Indices de mine de manganèse de Valajoux. Commune de Montignac. (Ce gîte, découvert il y a plusieurs années, n'a pas encore été exploré.)

Aveyron. Groupe important de filons de galène, cuivre gris et cuivre pyriteux aux environs de Villefranche et de Najac, décrits en 1847.

Le versant nord des *Pyrénées* présente des éléments favorables aux gîtes métallifères qui sont en effet nombreux et variés. Les plus importants sont sans contredit les minerais de fer hématites et fer spathique, spécialement aptes à la fabrication des fers de qualité et des aciers.

Le principal gîte de fer est celui de Rancié, près Vicdessos, exploité depuis plus de 600 ans. Le terrain encaissant est composé de calcaire blanc saccharoïde, de calcaires gris plus ou moins cristallins et d'argile schisteuse. L'ensemble de ces couches, longtemps regardé comme appartenant au terrain de transition, a été placé par M. Dufrénoy dans la partie inférieure de la formation jurassique; il s'y trouve en effet, sur quelques points, des bélemnites, des térébratules et des entroques, qui caractérisent les marnes supérieures du lias.

Les couches de la montagne de Rancié sont verticales, et l'une d'elles est tellement pénétrée d'hématite brune, accompagnée d'hématite rouge, de fer spathique et quelquefois d'oxyde de manganèse, que le minerai de fer peut y être considéré comme la roche dominante. En effet, non-seulement le calcaire est imprégné d'oxyde de fer de manière à être souvent tout à fait masqué, mais un grand nombre de veines sont remplies d'oxyde pur. On y trou e, comme dans les filons, des druses cristallines, des cavités tapissées de couches concentriques d'hématite brune et rouge. Cette couche a été reconnue depuis la cime de la montagne jusqu'à sa base, sur une hauteur de 600 mètres; on n'en connaît pas la limite inférieure. La puissance moyenne est de 20 mètres; elle va jusqu'à 40 dans les renflements et quelquefois est étranglée à 4 mètres. Ce beau gîte métallifère est un véritable stockwerk. Sa

disposition parallèle à la stratification du terrain l'a fait longtemps considérer comme de formation contemporaine; mais les observations de M. Dufrénoy ne permettent plus de douter qu'il ne soit postérieur au terrain encaissant. Sa formation se trouve ainsi liée aux épanchements granitiques qui ont contribué au relief du sol, et qui, en beaucoup de points, ont transformé les couches calcaires en marbres et en dolomies.

La masse du Canigou présente une série de gîtes de fer spathique remarquables par leur puissance et leur qualité. Une roche granitique a percé au milieu des terrains stratifiés, et la zone elliptique, d'environ 16 kilom. de diamètre, suivant laquelle a lieu le contact des deux espèces de roches, renferme des gîtes nombreux de fer carbonaté spathique et de fer oxydé. Telle est la loi du groupement des mines de Batère, de Rocas-Negros, de la Droguère, d'Olette, de Fillols, de Vellestavia, Saint-Martin, etc., qui forment des amas, veines ou filons, tous coordonnés d'après ce principe. Longtemps ces richesses sont restées improductives par l'imperfection des voies de communication, aujourd'hui les exploitations se développent rapidement.

Les gîtes des Pyrénées autres que les gîtes de fer sont restés jusqu'à présent sans importance; mais l'utilisation de la blende paraît devoir ranimer l'exploitation sur quelques points, et surtout dans l'Ariége. Il existe des filons de blende et galène notamment autour du mont Crabère,' aux environs de Seintin, de Castillon et d'Aulus.

Parmi les anciennes mines, on cite encore les mines de cuivre de Baigorry dans le département des Basses-Pyrénées, et celles de plomb argentifère d'Aulus, dans la vallée d'Erce, département de l'Ariége, de Pierrefitte (Hautes-Pyrénées), abandonnées et reprises successivement.

Les principaux gîtes connus pour être dans le même cas sont, indépendamment d'un grand nombre de gîtes de fer oxydé ou spathique :

Aude. Mines de cuivre de la Canale, de Pech-Egute, de Sainte-Marie, etc. Commune de Maisons. (Abandonnées vers 1750 après un assez grand développement de travaux souterrains.)

Mine de cuivre. Commune de Lanet et de Bouysse. (Travaux de reconnaissance à plusieurs époques; les derniers datent de 50 ans.)

Mine de cuivre antimonial et argentifère de Feugerolle. Commune de Quintillan. (Anciennement exploitée, reprise en 1782. Abandonnée en 1793.)

Mine de plomb argentifère de Rocas-Negros. Commune des Bains de Rennes. (L'époque et la cause de l'abandon sont inconnues.)

Mine de plomb. Commune de Mont-Gaillard. (L'époque et la cause de l'abandon sont inconnues.)

Mine d'antimoine. Commune de Quintillan. (Abandonnée en 1805 par suite de la rareté du minerai.)

Mine d'antimoine de las Corbos. Commune de Maisons. (Exploitation suspendue depuis 1823.)

Mine de manganèse de Villerambert. Commune de Cannes. (Abandonnée vers 1802 faute de débit.)

Hérault. Mine de cuivre. Commune de Vieusau. (Abandonnée il y a deux siècles; reprise en 1789 et abandonnée presque aussitôt sans motifs connus.)

Indices de mine de plomb argentifère. Riols, près de Saint-Pons. (Ils consistent en un beau filon découvert il y a peu d'années, sur lequel il n'a été fait aucun travail, et que les rapports signalent comme devant être productif.)

Mine de cuivre. Commune de Boussagues. (L'époque de l'abandon est inconnue. On y a fait des travaux souterrains considérables.)

Mine de plomb de la montagne de Caroux. A Colombières. (La cause et l'époque de l'abandon sont inconnues.)

Mine de plomb argentifère de la Malou et du Pradel. Communes de Mourcairol et de Villemagne. (La cause et l'époque de l'abandon sont inconnues. L'étendue des anciens travaux atteste une grande et longue exploitation. Quelques travaux de reconnaissance ouverts il y a 30 ans n'ont point eu de suite.)

Ariége. Mine de plomb argentifère. Commune d'Aulus, canton d'Oust. (Plusieurs gîtes voisins les uns des autres ont été superficiellement exploités dans des temps très-reculés. Il y a eu une reprise mal administrée et mal conduite sous le rapport de l'art, il y a environ un demi-siècle. Il paraît qu'on a méconnu le principal minerai, qui est un carbonate de plomb argentifère, tantôt solide et tantôt terreux. Des rapports circonstanciés annoncent que ces mines peuvent donner lieu à une exploitation.)

Sables et terres aurifères. Environs de Pamiers, principalement dans le lit des ruisseaux de Benagues-Ferriès, Gros-Milly, Trebans, Pailhès, etc., etc., et dans un grand nombre de terrains cultivés qui font partie des bassins de ces ruisseaux.

Bassins et lits des ruisseaux de la Béouse et de Taliol, entre Foix et Saint-Girons.

Bassins et lits des ruisseaux de Nert et du Salat, dans les environs de Saint-Girons.

(Avant la découverte de l'Amérique, la cueillette de la poudre d'or dans l'Ariége donnait lieu à une industrie importante et qui datait de temps immémorial. Les orpailleurs étaient tenus de livrer l'or à un prix déterminé à la Monnaie de Toulouse, mais il y avait souvent contrebande. Depuis 1500, cette industrie a successivement diminué. Vers la fin du seizième siècle, la quantité d'or portée annuellement à la Monnaie de Toulouse ne s'est plus élevée au-dessus de deux cents marcs. De 1750 à 1762, le bureau de Pamiers n'a reçu en tout que quatre-vingts marcs. Aujourd'hui, la cueillette n'occupe plus que quelques paysans. Elle a été autrefois l'objet d'un grand nombre d'arrêts, d'édits et de règlements. Les principaux sont ceux des 14 mai 1472, 18 octobre 1481 et 9 novembre 1571. L'or est à un très-haut titre. Ces gîtes sont décrits par Réaumur, *Mémoires de l'Académie royale des sciences,* année 1718 ; par Guettard, *idem,* année 1761 ; et par Dietrich, *Description des gîtes de minerais de France,* t. I.)

Haute-Garonne. Mine de plomb et argent. Sur la montagne d'Uls, commune de Melles. (Abandonnée en 1824, les produits ne couvrant pas la dépense.)

Tarn. Mine de plomb. de Brassac. (Découverte en 1790; a été peu de temps après l'objet de quelques travaux qui ont produit 5 à 6,000 kilogrammes d'alquifoux et qui n'ont pas eu de suite. Elle est décrite, *Journal des Mines*, t. XXVIII.)

Mine de cuivre de Rosières-Carmeaux. (Abandonnée de temps immémorial; a été l'objet de travaux considérables dont une partie est encore accessible. Elle est décrite, *Journal des Mines,* t. XXVIII.)

Si les gîtes métallifères étaient toujours en proportion des soulèvements et des actions métamorphiques exercées par les roches éruptives, ces gîtes devraient être plus abondants et plus puissants dans les *Alpes* que dans toute autre contrée de l'Europe. Il n'en est pas ainsi.

Les contrées subalpines contiennent presque partout des indices de la présence des minerais. Le fer carbonaté, la galène argentifère et la blende, la pyrite cuivreuse et le cuivre gris, le nickel et le cobalt arsenical, le molybdène sulfuré, les oxydes de titane se trouvent sur une multitude de points dont l'énumération serait très-longue; mais les gîtes exploitables sont en petit nombre.

Les gîtes les plus importants sont précisément sur les versants français, et, en voyant leurs minimes produits, on est conduit à se demander si ce défaut d'exploitation provient de la constitution des gîtes, ou de l'inaptitude des populations et des institutions qui les régissent.

Les minerais de fer spathique sont nombreux dans les Alpes françaises. On exploite, notamment dans le massif compris entre les vallées de l'Arc et de la Romanche, des gîtes de contact en amas et filons qui alimentent les établissements d'Allevard. Ces fers carbonatés sont bien connus par les belles cristallisations qu'ils fournissent aux collections minéralogiques.

Les mines de fer spathique de Saint-Georges-d'Hurtières, près d'Aiguebelle, sont ouvertes dans des filons analogues à ceux d'Allevard. Leur production, limitée à environ 6,000 tonnes, est susceptible de développement non-seulement au point de vue du fer spathique, mais aussi de la pyrite cuivreuse qui l'accompagne.

On a exploité des minerais spathiques et de la galène, au-dessus de la limite des neiges, près de Modane. Ce sont des filons qui traversent à la fois les schistes anciens et le terrain houiller.

L'Oisans a tous les caractères d'une région minière; les gîtes y sont nombreux et variés, et, dans la vallée de la Romanche, les cailloux roulés abondent en roches métamorphiques souvent métallifères.

En beaucoup de points, les affleurements des filons sont visibles sur les parois abruptes et dénudées qui encaissent les vallées.

C'est ainsi que le filon du Grand-Clot présente, en aval de La Grave, des affleurements escarpés qui s'élèvent jusqu'à 600 mètres de hauteur. Plusieurs attaques, pratiquées à divers niveaux, ont fourni des quantités rémunératrices de galènes très-argentifères. Ce filon est malheureusement à gangue de quartz dur et tenace, et sa position élevée ne permet pas d'y travailler toute l'année.

Près du village de l'Argentière, en remontant la vallée qui conduit à l'Alp-Martin, se trouve un filon également célèbre de galène argentifère, dans des alternances quartzeuses et calcaires considérées comme appartenant au trias. Ce filon, d'une puissance de 2 à 4 mètres, est aussi à gangue quartzeuse; à plusieurs époques, il a été l'objet de travaux assez actifs.

En remontant la vallée de la Romanche, au delà de Villard d'Areine, jusqu'aux chalets de l'Alp, on trouve un contrefort de gneiss, auquel se superposent des calschistes avec ammonites et bélemnites appartenant au lias. Vers le contact du gneiss et du lias, se trouvent des filons à gangues de quartz, de spath dolomitique et de fragments de gneiss, contenant de la galène et des pyrites souvent cuivreuses. Plus loin, existe une excavation dite la Grande Carrière, ouverte dans un gneiss sillonné de petites veines métallifères.

Ces veines contiennent du cuivre gris argentifère, des cuivres



Fig. 44. — Stockwerk de cuivre gris argentifère à Chamossier près de l'Alp, (Villard d'Areine.)

pyriteux et panachés accompagnés de carbonates. M. Graff a dessiné la disposition des veines métallifères représentée figure 44 à un moment ou leur ensemble constituait un véritable stockwerk. D'après les comptes qu'il a présentés sur l'abatage d'une certaine quantité de ces minerais, la valeur du gîte ne serait pas contestable.

Parmi les nombreux filons de l'Oisans, ceux qui ont donné lieu aux travaux les plus fructueux et les plus développés sont les filons d'Allemont, dans la montagne des Chalanches.

Cette montagne est composée de schistes talqueux et amphiboliques, enclavant des couches calcaires et surmontant des granites qui en forment la base. Des galeries furent ouvertes à 2,100 mètres d'altitude dans un filon très-irrégulier traversant une roche quartzeuse micacée qui fait partie du terrain schisteux et dont les couches inclinent au S.-O. Ces gîtes sont irréguliers. L'allure du terrain et la marche de leurs accidents portent à croire qu'ils ont été produits par les causes qui ont accidenté les Alpes françaises, c'est-à-dire postérieurement aux terrains secondaires dont les assises ont été si violemment disloquées et si profondément altérées.

La gangue des filons était argileuse, variée par cette multitude de substances qui caractérisent les montagnes de l'Oisans et dont l'on retrouve des échantillons dans les collections minéralogiques. Ce sont : la chaux carbonatée, dont on a compté treize variétés, la chaux carbonatée manganésifère, la chaux sulfatée, la baryte sulfatée, le quartz hyalin, enfumé ou laiteux, le jaspe, plusieurs variétés de grenat, le feldspath, l'axinite, l'épidote, l'actinote, l'asbeste, le talc, la chlorite. Tous ces minéraux servaient de gangues à l'argent natif, à l'argent sulfuré accompagné d'un grand nombre de substances métallifères, telles que la galène argentifère, le nickel arsenical, l'arsenic, l'antimoine natif, le cuivre sulfuré, le cuivre carbonaté, le cuivre gris, l'oxyde de manganèse, enfin le mercure sulfuré et natif.

Les autres gîtes sur lesquels on peut appeler l'attention sont :

Hautes-Alpes. Mine de plomb à Lapierre.

Mine de plomb. A l'Argentière. (Abandonnée depuis 60 ans environ comme trop pauvre.)

Mine de cuivre. Aux Acles. (Abandonnée depuis 60 ans comme trop pauvre.)

Var. Minières de fer chromé de Gassin. (Terrain en partie concédé et en partie non concédé) sur la plage de Cavalaire. (L'exploitation a été abandonnée par l'effet de la concurrence du fer chromé de Baltimore, États-Unis d'Amérique.)

Mine de plomb argentifère. A Cogolin. (Seulement explorée; aban-

donnée depuis plusieurs années à raison du peu d'abondance du minerai.)

Indices de mines de plomb et zinc sulfurés tenant cuivre et argent. A Lagarde-Frainet. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mines de plomb argentifère. A Montali, près Grimaud. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mine de plomb argentifère. A la Gambade. (N'ont jamais été exploités ni explorés.)

Indices de mine de plomb. Près de Gassin. (Ont été l'objet de quelques travaux de reconnaissance.)

Autres indices analogues dans un rayon d'un à deux myriamètres autour de Saint-Tropez, notamment près du bois Noir. (Ceux-ci ont été reconnus par quelques fouilles.)

Mine de plomb argentifère avec cuivre et fer. Au lieu dit les Ameniers. (Explorée en 1823.)

Mine de plomb. Commune du Canet du Luc. (L'époque de l'abandon est inconnue.)

Indice de mines de cuivre pyriteux. Au Luc. (On ne croit pas que ce gisement ait encore été attaqué.)

Indices de cuivre carbonaté. Entre Hyères, Solliès et Toulon. (Minerais disséminés dans des grès bigarrés.)

Indices de mine de graphite (plombagine). A une demi-lieue du plan de la Tour. (Il ne paraît pas qu'il y ait des recherches faites sur ces indices.)

Indices de graphite. A Ramatuelle, au sud de Gassin.

Basses-Alpes. Mine de plomb. Commune de Saint-Geniez-de-Dromont. (Non exploitée depuis 1788.)

Mine de plomb argentifère. Commune de Curban, au pied de la montagne Aujarde. (On y a fait des tentatives d'exploitation en 1718, en 1770, en 1783, et définitivement en 1785. Elle a été abandonnée vers 1790, probablement à cause de l'appauvrissement du gîte.)

Mine de plomb argentifère. Commune de Piégu, hameau de Nairac. (On y a fait des tentatives d'exploitation en 1718, en 1770, en 1783, et définitivement en 1785. Elle a été abandonnée vers 1790, probablement à cause de l'appauvrissement du gîte.)

Mine de plomb de la Malune. Entre les vallées de Verdon et de Barcelonnette. (Découverte en 1762, exploitée en 1766, reprise vers 1786, et abandonnée peu de temps après à raison du peu d'abondance des produits.)

Indices de plomb. Près de Colmars, partie supérieure de la vallée du Verdon. (Il y a eu des travaux de recherche qui ont fourni de beaux échantillons de minerai.)

Isère. Mine d'argent de Chalanches, près d'Allemont, commune d'Allemont. (Découverte et exploitée en 1768, abandonnée depuis 1815 par suite de la mort du concessionnaire et de ses mauvaises affaires dans d'autres entreprises. Malgré de grandes et fâcheuses vicissitudes administratives et l'exiguïté de la mise de fonds, l'exploitation, qui a duré quarante-six ans, a produit 42,525 marcs d'argent. La recette totale a été de 2,296,367 francs. La dépense totale a été de 2,415,317 francs. Déficit, 115,650 francs. Ce déficit provient des vingt-trois dernières années, la dépense annuelle (31,000 francs, terme moyen) ayant été constamment trop faible pour donner le développement nécessaire aux travaux souterrains. Tous les rapports s'accordent sur les avantages de la reprise de cette mine, pourvu qu'on y applique des capitaux suffisants.)

Mines de plomb. Vizille et Vaulnaveys. (Abandonnées depuis quinze à vingt ans comme trop pauvres.)

Mines de plomb. Sechilienne et Saint-Barthélemy. (L'époque de l'abandon est inconnue. On présume qu'elles sont pauvres.)

Mines de plomb argentifère. Huez et lieux environnants. (Abandonnées à une époque inconnue et très-ancienne, probablement à cause de leur pauvreté.)

Mine d'or de la Gardette. Commune de Villard-Eymond, près du bourg d'Oisans. (Recherches suivies de quelques tentatives d'exploitation, au commencement de 1700, en 1733, en 1765 et en 1770. Exploitation faible de 1781 à 1787, pendant laquelle on a dépensé 27,371 francs. La recette en or et en cristaux de roche a été de 8,000 francs. Cette mine a été reprise en 1837, elle est décrite dans le *Journal des Mines*, t. XX, p. 103.)

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE LA BELGIQUE

La Belgique a des rapports géologiques tellement intimes avec la France, qu'il ne peut exister entre les deux régions de bien grandes différences sous le rapport des gîtes métallifères. Il en existe une cependant qui mérite d'être consignée.

La formation du calcaire carbonifère est à peine visible sur le territoire français; en Belgique on traverse tous les étages de la formation devonienne en suivant la vallée de la Meuse, de Namur à Liége, et celle de la Vesdre, de Liége à Aix-la-Chapelle.

Sur tout ce parcours, la formation devonienne est représentée par des alternances de poudingues, grès et schistes argileux, avec des calcaires carbonifères. Les dépôts arenacés dits systèmes quartzo-schisteux dominent à la base; ils sont souvent ferrugineux, contiennent les bancs de fer peroxydé rouge, oolithique, dits oligistes, et sont l'équivalent du vieux grès rouge. Les calcaires carbonifères dominent à la partie supérieure et supportent la formation houillère. Ces calcaires sont éminemment métallifères.

De Namur à Aix-la-Chapelle, le contact des calcaires et de la formation houillère superposée est, en effet, jalonné dans toute sa longueur, par les gîtes de Corphalie près Huy, d'Ampsin, d'Engis, du Dos, de Moresnet, de Verviers, d'Altenberg et de Bleyberg; il se continue en Prusse par Diepenlinchen et Stolberg.

Les gîtes pénètrent accidentellement dans les schistes considérés comme la base du terrain houiller, le plus souvent ils sont contenus dans les anfractuosités des calçaires. Sur la plupart des points, ils conservent le caractère de filons concordants; quelquefois ils semblent isolés sous forme d'amas, ou se ramifient dans des fissures comme de véritables filons-fentes.

Les émanations métallifères qui ont ainsi pénétré les clivages du calcaire carbonifère en couches redressées paraissent accidentellement avoir accumulé leurs produits dans des dépressions superficielles.

Ces épanchements superficiels ont été le siége des premières exploitations qui datent de la domination espagnole. On y recherchait surtout la galène; ils furent ensuite le berceau de l'industrie du zinc qui devait plus tard y prendre les plns vastes développements.

Les minerais consistent en pyrites de fer, blende et galène; c'est-à-dire en sulfures qui paraissent former la composition normale des minerais en profondeur. Mais, vers la surface, le plomb carbonaté, les calamines (carbonates et silicates de zinc), et les oxydes de fer se mêlent aux sulfures et même, sur beaucoup de points, les ont exclus en prenant le caractère de minerais stalactiformes et concrétionnés.

Ces minerais ont des caractères tellement tranchés sous le double rapport de leur composition et de leur structure, qu'on le reconnaît à première vue dans toutes les collections.

Les calamines affectent tous les détails de structures concrétionnées et stalactiformes, qui peuvent se présenter, mais en conser-



Figure 45. — Calamine en concrétions cristallines.

vant en général le caractère de substances rubannées, adhérentes aux parois, comme l'indique la figure 45 .

Ces formes ne peuvent être attribuées qu'à des concrétions produites par voie humide ; mais ces concrétions sont cristallines, elles ont été déposées sur les parois des vides préexistants. Leur origine ne peut être douteuse, elles sont dues à des concrétions provenant de sources minérales.

Le principe de l'origine souterraine de ces gîtes se trouve ainsi maintenu malgré leur apparence de dépôts formés par les eaux.

Ce principe se trouve confirmé lorsque les travaux souterrains descendant en profondeur trouvent ces concrétions d'oxydes, de carbonates et de silicates, progressivement mélangées de sulfures, puis enfin remplacées par eux.

Ce qui donne un intérêt tout particulier à ces minerais, c'est que les sulfures en se mélangeant aux carbonates concrétionnés

et stalactiformes, prennent eux-mêmes les mêmes caractères de structure.

Les sulfures concrétionnés sont le plus souvent compactes; l'échantillon figure 46 est un assez bon spécimen de leur disposition.



Fig. 46.

La zone superficielle est formée de pyrite de fer radiée, comme celle des concrétions cristallines qui se trouvent dans la craie et par conséquent d'origine aqueuse; quelques petits cristaux de galène sont implantés à la surface. La masse est formée de

zones alternantes de blende jaune claire, compacte et d'apparence lithoïde, avec des blendes brunes ou noires, également compactes, d'un éclat résineux, souvent enduites de galène qui sépare ces diverses zones et dont les surfaces concrétionnées imprimées sur les zones superposées, se détachent assez facilement.

Ces surfaces concrétionnées et compactes des sulfures métalliques sont rares dans les filons, nous les avons retrouvées une seule fois dans un filon bien caractérisé, à Churprintz près Freiberg. Leur position dans des évasements superficiels, sortes de bassins où se condensaient les émanations métallifères, explique leurs caractères spéciaux.

Le gîte le plus important de ces lacs comblés par les émanations métallifères a été celui de Moresnet, plus connu sous sa dénomination de *Vieille-Montagne*. Il se présente sous la forme d'une vaste excavation ellipsoïdale, creusée dans un amas situé au contact des schistes et des calcaires carbonifères. Dans cet amas de 400 mètres de longueur, sur 150 de largeur, la calamine formait des masses irrégulières noyées dans des argiles délayables, bariolées, jaunes, rouges, noires et sans stratification.

Le minerai dominant était jaune, compacte ou concrétionné, criblé de géodes cristallines dans lesquelles se reconnaissent les rhomboèdres du carbonate de zinc et plus rarement les prismes du silicate. Vers leurs contacts avec les roches stériles, les masses calaminaires affectaient une structure bréchiforme et contenaient des fragments anguleux des roches schisteuses encaissantes.

Aujourd'hui cette exploitation est presque épuisée et les travaux portent principalement sur le gîte de Walkenrath, situé à 7 kilomètres et compris de même entre les schistes et les calcaires. Ce gîte se compose de deux zones distinctes, une zone de calamine située au contact des calcaires, et une zone de blende, pyrite et galène, au contact des schistes. Les minerais sulfurés sont, comme tous ceux de la vallée de la Meuse, remarquables par leur structure concrétionnée. Ces concrétions à surfaces mamelonnées forment des zones rubanées dans lesquelles la galène conserve son apparence ordinaire, tandis que la blende est compacte, jaune ou brune, et sans l'éclat semi-métallique qui la caractérise dans les gîtes cristallins.

La puissance et la richesse de ces gîtes sont extrêmement variables. Tantôt ils se réduisent à des veines ou lits irréguliers interposés entre les couches, veines toujours apparentes par leurs couleurs ocreuses ; d'autres fois ils se renflent et conduisent à de véritables amas, comme celui de la Malliesse qui a 10 mètres d'épaisseur, ou comme celui de la Vieille-Montagne qui en a plus de 100.

Aux environs d'Engis, les gîtes traversent obliquement la stratification de plusieurs couches calcaires qui paraissent contenir ainsi des amas dans des fractures transversales.

Les gîtes calaminaires sont donc essentiellement irréguliers dans leurs formes et dans leur composition ; mais ils ont constamment la même position géologique ; ils suivent le contact des calcaires carbonifères et des ampélites alumineux placés à la base du terrain

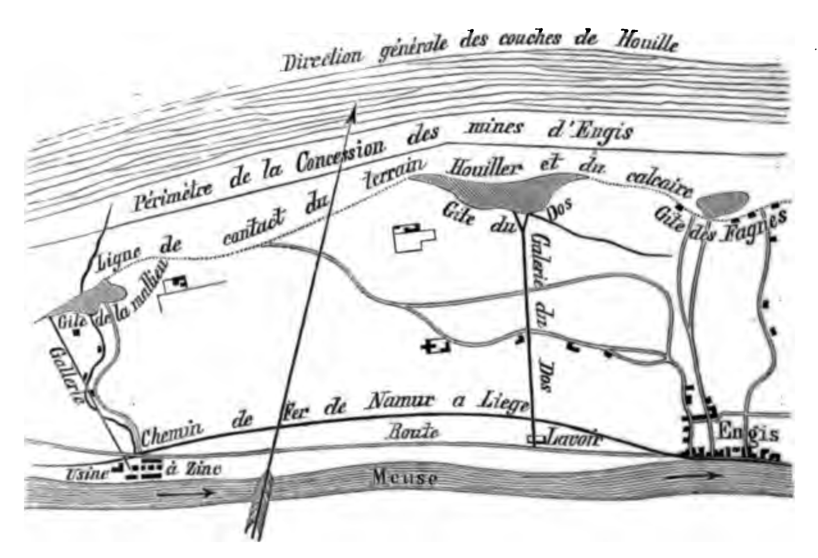


Fig. 47. — Disposition des gîtes de calamine, galène et pyrites de la Nouvelle-Montagne, près Engis, sur la Meuse.

houiller, position géologique précisée par la figure 47, qui représente la succession des gîtes exploités à la Nouvelle-Montagne près Engis. Les gîtes de la Mallieue, du Dos et des Fagnes suivent exactement la ligne indiquée au contact des deux formations. En étudiant le plan de contact, soit à la surface, soit par des travaux souterrains, on a constaté que ces amas étaient reliés

de Corphalie jusqu'à Chockier par des veines et des amas moins importants.

Ces amas métallifères ne paraissent d'ailleurs justifiés par la présence d'aucune roche ignée postérieure aux roches stratifiées encaissantes : aussi plusieurs ingénieurs du pays les ont-ils regardés comme de simples dépôts ou remblais, intercalés dans des vides ou poches qui existaient dans le terrain. Cette opinion semble souvent confirmée par l'apparence bréchiforme des amas. Si l'on vient cependant à discuter l'origine des gîtes par l'étude des roches qui les constituent et des roches qui les encaissent, on pourra réunir un grand nombre de faits qui les distinguent des véritables minerais stratifiés, tels par exemple que les minerais de fer d'alluvion.

Il résulte d'un premier examen que ces minerais calaminaires sont postérieurs aux roches encaissantes, puisqu'ils en contiennent des fragments anguleux, véritables débris du toit et du mur. L'intérieur des gîtes ne présente aucune trace de stratification; les minerais sont cristallins ; on y trouve des géodes, des druses comme dans les filons, et des zones ondulées parallèles aux contours des masses. Enfin les sulfures, tels que la galène et la blende, sont des minerais que nous sommes habitués à attribuer aux phénomènes métamorphiques.

Les contours des grands amas calaminaires ne sont pas nettement définis comme ceux de cavités remplies par une action sédimentaire. Il y a le plus souvent pénétration, imbibition du minerai dans le terrain encaissant ; de telle sorte que les limites se pressentent par le mélange des éléments du toit et du mur. Cette pénétration s'oppose à toute assimilation avec les cavités remblayées, si fréquentes dans le terrain jurassique.

Pour apprécier l'origine de ces gîtes, étudions les conditions dans lesquelles se présentent les roches encaissantes.

Ces roches sont toujours les schistes-ampelites ou les calcaires carbonifères; or, dans les deux cas, elles offrent des circonstances remarquables d'altérations métamorphiques, altérations qui sont ordinairement propres aux plans de contact de ces roches avec les roches ignées. Les calcaires sont massifs, cristallins et dolomitiques ; les schistes sont pénétrés de pyrites, et, en beaucoup de points, convertis en schistes alunifères; souvent même on voit

les roches encaissantes s'altérer et se modifier vers les contacts, au point qu'il y a passages minéralogiques entre elles et les minerais. Ainsi, au milieu du gîte de Moresnet, les calcaires, qui d'abord sont devenus durs et dolomitiques vers le contact, s'avancent dans le gîte calaminaire où ils formaient une masse intercalée ; là, ils se colorent, sont friables et contiennent une quantité notable de calamine, 10 pour 100 et au delà.

Si l'on considère la position fortement accidentée et toujours très-inclinée des couches du terrain anthraxifère, on concevra que le terrain, placé dans des positions aussi anormales, a dû subir des ruptures en beaucoup de points, et que les plans de contact de deux roches aussi hétérogènes que les schistes et les calcaires devaient servir de clivages naturels. Or, le terrain disloqué se trouvant au-dessus du foyer souterrain, ces plans de rupture ont servi d'évents naturels, et il s'y est établi des solfatares métallifères dont les gîtes calaminaires et les schistes pyriteux alumineux sont aujourd'hui les diverses expressions.

Les calcaires ont été le siége principal de ces sublimations ; outre les calamines, ils contiennent, sur plusieurs de points du pays de Namur et de Liége, des gîtes cristallins de galène et de cuivre pyriteux accompagnés de gangues caractéristiques, telles que le spath-fluor et la baryte sulfatée. Au contact de ces minerais comme au contact des calamines, le calcaire se transforme en dolomie ; et, comme aujourd'hui les idées théoriques sont fixées sur l'origine des galènes, pyrites de cuivre, etc..., la concordance des caractères que prennent les roches encaissantes à leur contact devient encore une preuve de l'identité d'origine qui réunit tous les minerais de la contrée.

Une partie des minerais de fer hydroxydé de la vallée de la Meuse appartient à des gîtes irréguliers, dont beaucoup sont intimement liés aux gîtes de calamine. Ces minerais se trouvent principalement sur la rive gauche.

Dans le canton de Héron, le fer hydroxydé constitue sept à huit filons verticaux, dont l'ensemble a plus de 1,000 mètres de longueur et dont la puissance varie de 0^m,30 à 2, 3 et jusqu'à 10 mètres. Ces filons, comme les calamines, traversent le calcaire et ses dolomies ;

ils contiennent de la galène et du plomb carbonaté qui ont donné lieu autrefois à des exploitations assez actives : on y trouve de plus de la calamine et de la blende mélangées aux hydroxydes de fer, de manière à démontrer l'identité des conditions du gisement et de l'origine.

La galène, le plomb carbonaté, la calamine, se retrouvent encore dans les minerais de fer de Rocheux et des environs de Theux; à Landenne on a exploité un filon rempli de calamine et de galène subordonnés aux minerais de fer. Enfin on trouve, dans le pays de Liége, de la galène, de la calamine et surtout des oxydes de fer, presque partout où il existe des dolomies, et suivant toute la ligne qui sépare les ampélites alumineux du calcaire anthraxifère.

Aux gîtes de pyrite, blende et galène, se rattache encore le riche filon de Bleiberg, entre Aix-la-Chapelle et Verviers, souvent rempli de galène et de blende, sans mélange de gangues. Ce gîte a bien les formes et les caractères cristallins d'un véritable filon ; il se lie à un épanchement de galène compris entre le calcaire devonien et les schistes houillers qui se rattache plutôt aux gîtes de contact précédemment décrits.

La disposition des terrains du pays de Liége et les conditions de distribution géographique des minerais qui s'y trouvent sont résumées par la note suivante extraite de la description géologique de la vallée de la Meuse, par MM. Lamine et Davreux :

« Si l'on part des environs d'Ampsin qui se trouvent au sud-est « du terrain houiller, en se dirigeant au nord-ouest sur Villers, de « manière à couper les affleurements successifs des terrains forte- « ment inclinés, on rencontre :

« 1° Une bande de calcaire de 50 à 60 mètres, désigné sous le « nom de *petit calcaire concomitant,* contenant des parties de « dolomie et coquillier à sa limite nord-ouest ;

« 2° Une bande de 120 à 140 mètres de schistes et de psammites « micacés ;

« 3° Trois petites couches de minerai de fer oligiste, terreux, « granuliforme, désigné sous les noms de grosse mine (0m40 « d'épaisseur), belle mine (0m 33), et petite mine (0m 30) ; ces trois « petites couches forment, avec les schistes qui les accompagnent, « un ensemble de 40 mètres de puissance ;

« 4° Un psammite très-quartzeux de 10 mètres, propre à faire des « pavés ;

« 5° Une bande de psammites et de schistes micacés de 40 « à 50 mètres d'épaisseur, contenant une petite couche de calcaires « à entroques ; »

« 6° Une large bande de 250 à 300 mètres, composée de dolomies « et de calcaires anthraxifères : ce sont ces roches qui sont dési- « gnées par les ouvriers du pays par la dénomination de *grands* « *rochers des alunières ;*

« 7° La zone métallifère, caractérisée par les minerais de fer, « zinc et plomb ;

« 8° L'ampélite alumineux et le terrain houiller proprement dit. »

Ainsi la position géognostique de tous les gîtes métallifères est fixe, et quoique ces minerais soient postérieurs aux terrains qui les encaissent, quoiqu'ils appartiennent à la classe des gîtes irréguliers, les phénomènes générateurs, en agissant suivant un clivage bien déterminé, leur ont assigné un gisement dans lequel on peut les rechercher *à priori.*

Interprétant ces conditions de gisement, M. Daubrée a signalé en même temps leur importance au point de vue géologique. On voit, dit-il, comment des gîtes d'apparence superficielle, et dont la formation se rapproche de certaines roches stratifiées, se transforment plus bas en gîtes sulfurés, qui au contraire, se rapportent tout à fait au type des filons. Ces considérations s'appliquent également aux amas de minerais de fer oxydé hydraté, qui, sont en relation intime avec les gîtes calaminaires aussi bien en Belgique qu'en Silésie et ailleurs. Au même titre que les gîtes de calamine, dont ils ne peuvent être séparés dans leur mode de formation, ces amas ferrugineux sont des produits d'émanations partant des profondeurs du sol, aussi bien que les masses pyriteuses auxquelles ils passent en s'approfondissant.

Grâce aux nombreux gîtes de minerais subordonnés aux calcaires carbonifères, la Belgique a conquis un rang notable dans la production du plomb et du zinc. La production de la galène est d'environ 18,000 tonnes, celles de la calamine et de la blende s'élevant à 60,000 tonnes. Les mêmes exploitations livrent en outre 50,000 tonnes de pyrites de fer.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'ALLEMAGNE SEPTENTRIONALE.

L'Allemagne est la terre classique de l'exploitation des mines. Sa vaste superficie peut être subdivisée en plusieurs zones, dont les caractères sont tout à fait distincts sous le rapport des minerais et des industries qu'ils alimentent.

Dans toute cette région, le terrain de transition est le terrain métallifère par excellence. La forme de filons est la plus habituelle pour les gîtes ; et, si l'on vient à comparer dans les divers districts, la manière d'être de ces filons, ce qu'on appelle leur allure, ainsi que la nature des minerais qui s'y trouvent disséminés, on reconnaît entre ces districts des différences notables. Ces différences conduisent à diviser les régions métallifères en trois zones distinctes.

L'Elbe, le Weser et le Rhin servent de limites à ces trois zones.

Entre l'Elbe et le Weser, les régions du Hartz, de l'Erzgebirge et du Thuringerwald renferment des filons classiques par leur régularité ; et, bien que des gîtes irréguliers se mêlent aux filons, cette forme est tellement dominante, qu'il en résulte un caractère spécial. Les minerais ordinaires consistent en sulfures éclatants et cristallins, tels que la galène, l'argent rouge, la pyrite cuivreuse ; en métaux natifs ou alliés, tels que l'arsenic, le cobalt ou le nickel arsenical. Les minerais de fer existent à la fois en filons et en gîtes de contact ; ce sont des oxydes cristallins, tels que le fer oligiste et les hématites fibreuses.

Entre le Weser et le Rhin, ces caractères se trouvent modifiés, sous le double rapport de la forme et de la composition des gîtes. Les filons sont généralement concordants avec la stratification du terrain, et irréguliers dans leur allure, au point que les filons curvilignes sont les plus fréquents, et qu'il n'est pas rare d'en trouver qui sont contournés en S. Parmi les minerais, la blende est la caractéristique la plus générale ; elle domine presque partout la galène, à laquelle elle se mélange constamment. Enfin, dans cette zone, le fer spathique manganésifère a une importance toute spéciale.

Sur la rive gauche du Rhin, se trouve une troisième zone

métallifère, caractérisée d'abord par la forme tout à fait irrégulière des gîtes, qui sont en amas plutôt qu'en filons, et, en second lieu, par leur nature, qui consiste en hydroxydes de fer, lithoïdes et caverneux, et en calamines plus ou moins mélangées de ces hydroxydes. Ces gîtes font suite à ceux de la vallée de la Meuse.

Ces différences caractéristiques des gîtes métallifères sont en quelque sorte écrites dans les industries des trois zones. Entre l'Elbe et le Weser sont les principales usines de plomb, argent, cuivre, cobalt, et les forges qui produisent les fers de qualité. La zone intermédiaire, entre le Weser et le Rhin, est spécialement représentée par la production des fontes cristallines, pour la fabrication des aciers. Enfin, la zone rhénane est en possession de la production des fontes communes et du zinc.

La zone intermédiaire, qui se trouvait plus limitée que les autres dans ses produits, est entrée dans une période nouvelle, depuis que le traitement de la blende s'exécute aussi facilement que celui de la calamine. La présence de la blende, qui entravait autrefois les exploitations, est devenue un puissant auxiliaire, et le développement des travaux en a reçu une impulsion remarquable.

Jetons un coup d'œil rapide sur les richesses métallifères de ces trois zones, en commençant par la plus orientale, dont les deux principaux éléments sont contenus dans les montagnes de l'Erzgebirge et du Hartz.

L'*Erzgebirge* est la chaîne de montagnes qui sépare la Saxe de la Bohême; sa forme linéaire est très-prononcée et sa direction O. 35° N. très-nette, quoique la crête de séparation soit peu élevée. Les points culminants sont formés par des dômes porphyriques et par quelques dykes basaltiques de 1,200 à 1,500 mètres d'élévation absolue, dont les masses, généralement arrondies, dépassent de 100 à 300 mètres au plus la ligne d'intersection des deux versants. La longueur de cette chaîne est de 150 kilomètres.

Le versant de la Saxe est peu incliné; il présente la forme d'un vaste plateau qui, depuis les environs de Freiberg, s'élève graduellement jusqu'à la ligne de faîte. Les vallées y sont larges et peu accidentées; les cours d'eau y coulent doucement et par de longs trajets vers les plaines de l'Elbe. Ce versant est exclusivement

composé de gneiss et de quelques alternances schisteuses développées surtout vers la partie occidentale de la chaîne.

Le versant de Bohême offre des caractères tout à fait différents. Les pentes y sont généralement rapides, et le terrain, profondément sillonné, s'abaisse sur une distance de quelques kilomètres jusqu'au niveau des plaines. Cette différence de constitution est mise en évidence par la disposition des cours d'eau principaux qui, au lieu d'être, comme vers le nord, dirigés perpendiculairement à l'axe de la chaîne, lui sont parallèles et se rendent directement à l'Elbe par les vallées profondes de l'Éger et de la Bila. Les ravins multipliés qui amènent dans ces vallées les eaux de l'Erzgebirge, leurs flancs dénudés par les eaux, présentent d'ailleurs plus d'intérêt aux géologues. Les terrains y changent en peu de temps : aux porphyres, granites et gneiss de l'axe culminant succèdent rapidement les affleurements des dépôts secondaires et tertiaires qui les recouvrent ; et la grande formation basaltique de la Bohême, qui s'annonçait sur la crête par des buttes détachées, se développe par des plateaux, par des dykes qui couronnent les collines, et donne encore un nouveau caractère au sol, par la variété des minéraux accidentels.

Du haut des protubérances de porphyre ou de gneiss qui dominent la rencontre des deux versants, le Kahlerberg ou le Keilberg, par exemple, on peut apprécier ce contraste de leur constitution physique et géologique. Les formes des montagnes, la couleur des roches et jusqu'à la végétation, tout contribue à faire ressortir la différence de ces deux versants, que l'on voit finir, en quelque sorte, l'un vers Freiberg et Chemnitz, perdus dans l'horizon, l'autre vers Tœplitz et Carlsbad, que l'on domine par des descentes rapides.

Du sommet de ces observatoires clair-semés sur le faîte de l'Erzgebirge, aucun obstacle n'arrête les regards, et l'on peut voir encore une multitude de cités fondées par l'industrie des mines, et dont les noms rappellent presque tous les gîtes célèbres dans l'histoire de la science : Freiberg, où naquirent la minéralogie et la géologie, est le centre des filons les plus classiques; Altenberg, Zinnwald, petites villes bien modestes, mais célèbres par leurs gisements d'étain ; vers l'O., Ehrenfriedersdorf, Geyer, Marienberg, Annaberg, Johangeorgenstadt, dont les minéraux variés en-

richissent les collections; Schneeberg, la ville du cobalt et du nickel, et, sur l'autre versant, Joachimsthal, le joyau des mines de la Bohême, Bleystadt, Schlackenwald, etc.

Les gneiss, qui constituent presque entièrement le versant saxon, sont peu variés dans leurs caractères; ces caractères sont d'ailleurs ceux qu'on peut choisir comme types minéralogiques. Dans tout le district de Freiberg, cette vaste nappe ondulée de gneiss présente un aspect identique, à peine modifié par quelques bancs de quartzites qui affleurent surtout vers le S.-O. et le S.-E. Si quelque protubérance frappe les yeux, on peut immédiatement la supposer due à des porphyres qui forment le trait principal de la chaîne culminante, et dont les masses détachées sillonnent toute l'étendue du versant.

Cette vaste nappe de gneiss, dont Freiberg occupe le centre, ne forme en réalité que le premier terme excessivement développé du terrain de transition de Saxe. Vers l'O. et vers le N. se trouvent des zones de micaschistes et de schistes argileux qui complètent la série des roches de ce terrain, avant qu'il disparaisse sous les dépôts secondaires.

Nous avons décrit précédemment les filons des environs de Freiberg représentés sur la carte (planche VIII), et ceux de Joachimsthal représentés sur la carte (planche VII): ces deux champs de fracture renferment les filons les plus célèbres de la contrée, mais ils ne sont pas les seuls.

La partie occidentale de l'Erzgebirge contient une série de gîtes que l'on a souvent appelée une seconde formation métallifère, à cause des différences notables que ces gîtes présentent dans leur composition. Des minerais plus argentifères, le cobalt, le nickel, l'urane, caractérisent les filons les plus récents de cette seconde formation, qui présente d'ailleurs des gîtes d'âge très-variable, les uns étant encore liés aux porphyres quartzifères, et les plus modernes aux basaltes. Les gîtes de Schneeberg, Marienberg, Annaberg, Johangeorgenstadt, sont presque aussi célèbres que ceux dont nous avons précédemment donné la description, si ce n'est dans les archives de l'exploitation, du moins dans l'histoire géologique des mines et dans les travaux minéralogiques.

Outre les filons, il existe dans l'Erzgebirge un assez grand

nombre de gîtes irréguliers qui sont principalèment caractérisés par l'oxyde d'étain.

On trouve en Saxe de l'oxyde d'étain dans quatre classes de gîtes : 1° en stockwerks, composés de veines et de petits amas dans certaines masses de granites et de porphyres (ce sont les gîtes que nous avons appelés gîtes éruptifs); 2° disséminé dans les couches du terrain schisteux avec les substances annexes qui lui servent de gangues, telles que le quartz, la tourmaline, la topaze, la chlorite, etc.; ce sont des gîtes irréguliers métamorphiques; 3° formant de véritables filons-fentes, remplis postérieurement à la formation du terrain qui les encaisse; 4° en alluvions stannifères dans les vallées où l'action des eaux diluviennes a détruit des gisements préexistants sous les formes déjà citées et accumulé des masses plus ou moins considérables de débris.

Le stockwerk de Zinnwald, précédemment décrit, dont la disposition générale est représentée fig. 38, la disposition de détail des veines étant indiquée, par le front d'une galerie (planche I), est évidemment contemporain du greisen dont il fait partie. La masse du greisen stannifère est comprise dans un terrain de porphyre auquel s'arrêtent les zones de minerais.

Le gîte d'Altenberg présente un caractère différent : c'est une masse de porphyre grisâtre, quartzifère, d'environ 400 mètres de longueur sur une largeur de 200 à 300 mètres. Cette roche est stannifère dans toute sa masse, et plus elle est quartzeuse, plus elle est riche en étain. Dans une partie de son périmètre, le porphyre passe soit au granite, soit à la syénite; mais alors il s'appauvrit, et c'est seulement lorsque la roche reprend sa première nature de porphyre gris quartzifère que le minerai reparaît. Cette roche d'Altenberg peut être considérée comme le greisen de Zinnwald, à l'état compacte, et mélangé de feldspath.

Chacun de ces amas ou stockwerks, ou, en d'autres termes, chacune de ces masses stannifères éruptives est différemment caractérisée par une disposition différente des veines stannifères. A Geyer, par exemple, les veines suivent des dessins tout à fait irréguliers, mais dont les allures se rapprochent le plus souvent de la verticale; elles se soudent et se ramifient sans que l'on ait pu constater aucune disposition spéciale, si ce n'est une certaine

tendance au parallélisme avec les strates des micaschistes qui s'appuient sur la roche stannifère.

Il est difficile de voir dans ces divers exemples autre chose que des gîtes contemporains d'une roche ignée dont la nature varie et dans laquelle la présence du minerai d'étain est liée à certains caractères minéralogiques qui, eux-mêmes, ne sont pas constants d'un gîte à l'autre. Cette contemporanéité range l'oxyde d'étain parmi les principes constituants des roches éruptives.

Les autres manières d'être des gîtes stannifères, en Saxe, ne présentent rien de particulier : ce sont, comme dans les autres districts et notamment le Cornwall, les gîtes métallifères les plus anciens. Les gangues sont toujours quartzeuses, caractérisées d'une manière assez remarquable par la chlorite, la tourmaline et la topaze.

En résumé, le porphyre quartzifère de l'Erzebirge est la roche métallifère par excellence ; les gîtes d'étain, qui peuvent être considérés comme liés aux phénomènes directs de l'éruption des masses principales, sont par conséquent les plus anciens de la série. Les galènes argentifères et les pyrites pauvres argentifères, qui forment le trait caractéristique des filons de Freiberg, minerais liés, à Marienberg, aux minerais d'étain, formeraient une seconde période bien distincte de la période des minerais éruptifs ; enfin les minerais de cobalt, urane, bismuth et argent, contemporains des basaltes, seraient l'expression la plus récente des actions qui ont produit les minerais.

La formation métallifère de l'Erzgebirge se serait ainsi prolongée depuis le commencement de l'époque crétacée jusque vers la fin de l'époque tertiaire.

Le *Hartz* a été très-bien défini : un îlot protubérant formé par les terrains de transition et surgissant au-dessus des plaines secondaires de l'Allemagne septentrionale. Cet îlot elliptique a 10 myriamètres de longueur, depuis Grund jusqu'à Mansfeld, sur 3 de largeur moyenne ; il est orienté du S. S. E. au N. N. E. Ses contours sont assez nettement dessinés par le relief du terrain de transition et par les affleurements des couches relevées du rothliegende, du zechstein, du grès bigarré, du muschelkalk, du keuper, du lias et de la craie, qui sont appliquées sur les derniers versants,

et forment sur son périmètre des lisières ou zones d'affleurements étroites et concentriques.

Vu de quelques kilomètres, et lorsqu'on se place sur les dernières ondulations formées par ces lisières d'affleurement, le Hartz apparaît comme une gibbosité surbaissée, dont les pentes s'élèvent doucement et assez régulièrement jusqu'au Brocken, qui est le point culminant ; mais cette apparence de régularité cesse lorsqu'on pénètre dans l'intérieur, et l'on ne voit plus qu'un groupe de montagnes arrondies, tantôt entassées, tantôt séparées par des vallées larges et profondes. L'étude des roches constituantes devient dès lors indispensable pour apprécier l'ensemble et les détails de la structure du pays.

Le cône culminant du Brocken (1,132 mètres d'élévation), qui forme le trait le plus prononcé de la structure du Hartz, est composé de granite ; plusieurs montagnes, également élevées et de même composition, se rattachent au Brocken ; leur ensemble constitue une masse saillante et cristalline autour de laquelle se contournent et se relèvent les dépôts stratifiés du terrain de transition. A l'est de cette masse, qui occupe environ 150 kilomètres carrés, les granites en forment une seconde beaucoup moindre en superficie comme en élévation ; ce sont les montagnes de Rostrapp. Ces granites sont généralement très-cristallins.

Les terrains de transition du Hartz sont divisés en deux formations puissantes : celles des *thonschiefer* ou schistes argileux, et celle des *grauwackes*. Ces deux formations, qui paraissent concorder dans la plupart des circonstances, représentent cependant deux étages distincts.

Le développement des thonschiefer commence par des roches siliceuses, *kieselschiefer,* et se termine en se chargeant de quelques alternances calcaires. Il en est de même de l'étage des grauwackes, qui commence par les *quartzfels* ou quartzites et se terminent par des alternances de grauwackes et de calcaires.

En parcourant l'intérieur du Hartz, on reconnaît que la disposition des roches stratifiées est constamment subordonnée aux masses granitiques, ainsi désignées comme centres principaux d'éruption et de soulèvement ; mais on reconnaît aussi que la structure du groupe offrirait plus d'unité et de simplicité si les formes n'eussent été compliquées par d'autres causes. Ces causes sont manifestes

par la présence fréquente des roches amphiboliques éruptives, désignées sous les dénominations de *grunsteins, amphibolites, diorites, pyroxengeistein,* etc.

Ces *amphibolites*, d'un vert sombre, souvent cristallines et affectant quelquefois les structures radiées et globulaires caractéristiques de ces roches, se rencontrent dans toutes les parties du groupe. Les accumulations principales suivent une ligne transversale depuis les environs de Lerbach jusqu'au delà d'Altenau, ligne interrompue par le cap granitique de Ziegenrucke, mais qui reparaît au-delà de ce cap, vers Goslar et Harzburg. On retrouve les mêmes roches amphiboliques autour des granites de l'E., à Andreasberg, à Wieda, etc.

Les roches amphiboliques du Hartz justifient, par les variations de leurs caractères, la multiplicité des dénominations qui leur ont été données. L'adjonction du feldspath qui les fait bien réellement passer aux diorites, et la substitution de l'hypersthène à l'amphibole, sont les principaux éléments de ces transformations. Ces diverses roches, en se soudant aux roches stratifiées suivant le plan desquelles elles se sont souvent insérées, en ont altéré la nature minéralogique et la texture, de manière à déterminer des roches mixtes ou métamorphiques qui ont reçu des dénominations spéciales. Telles sont les roches dites *blattersteins* et *mandelsteins*, qui reproduisent les caractères de nos spillites et de nos amygdaloïdes.

Les roches amphiboliques sont les roches métallifères du Harz. Nous avons déjà signalé leurs relations directes et intimes avec les minerais de fer. Ces relations, quoique moins directes, sont cependant analogues entre les diorites des environs d'Andreasberg et les filons métallifères qui sillonnent le champ de fracture situé dans les schistes argileux. (Voir la planche VI et la description des filons d'Andreasberg.)

Dans les environs de Clausthal et de Zellerfeld, les filons métallifères sillonnent la zone des grauwackes; leur vaste réseau est représenté par la carte (planche IX).

La composition générale des filons de Clausthal est assez homogène et se réunit aux caractères de forme et d'allure pour indiquer que tous ces filons, s'ils ne sont pas strictement de la même époque

de formation, se rapportent du moins à la même période géologique et ont été formés par les mêmes influences.

Cette composition générale peut être définie comme un remplissage bréchiforme de roches du toit et du mur, soudées et traversées par des substances nouvelles qui tendent toujours à déterminer dans l'ensemble la disposition caractéristique des filons par bandes symétriques parallèles au toit et au mur. Cette disposition symétrique devient même complète lorsque, accidentellement et dans les parties peu puissantes, les substances nouvelles remplissent seules la fracture.

Ces substances sont, parmi les gangues : le spath calcaire pur ou ferrugineux (braunspath), le fer spathique, le quartz, la baryte sulfatée ; et, parmi les substances métallifères : la galène argentifère qui forme le trait le plus essentiel, la pyrite cuivreuse et la blende.

On peut considérer comme filon principal celui de Clausthal et Zellerfeld qui se termine environ à 2,000 mètres à l'est de Clausthal, à la rencontre du *Rosenbusthergang* ; ce second filon se prolonge à l'ouest de Clausthal, par une partie renflée et très-divisée, dite *Rosenhofer Zug*, qui est un des points les plus riches de la contrée. Plus au sud, le *Silbernaaler* commence aux environs de Grund, et se perd à l'approche de la ligne des amphibolites (voir la carte-planche IX).

Au nord du filon principal se trouve d'abord un système de fissures très-rapprochées qui peut être considéré comme appartenant à un même filon composé du *Hutschenthaler*, du *Spiegelthaler* et du *Herzberger Zug*. Le filon de *Bockwieser*, qui se termine à *Schulenberg*, est un second système remarquable par sa puissance ; enfin, plus au N., celui de *Lauthenthal* et *Hannenkleer* termine le groupe des cassures métallifères qui embrassent ainsi un champ de 9,000 mètres de l'E. à l'O., et de 7,000 mètres du N. au S.

En résumé, ces six filons principaux courent, suivant une direction générale de l'E. à l'O. (direction moyenne de 8 heures), en coupant le terrain de grauwacke et de thonschiefer, dont les couches fortement inclinées sont dirigées, comme les masses amphiboliques, du N.-45°-E. au S.-45°-O. Ce qui est à remarquer, c'est que ces filons puissants s'arrêtent à une limite tracée par les roches amphiboliques qui courent de Lerbach à Altenau, et dont la ligne

n'a jamais été coupée par eux ; c'est en quelque sorte une barrière devant laquelle ils s'infléchissent et s'arrêtent.

Ainsi considérée, dans son ensemble, la disposition des filons du district de Clausthal devient très-simple, puisqu'elle se réduit à six fractures ou plutôt à six artères principales auxquelles se rapportent tous les filons de la contrée. Ces six artères ont elles-mêmes dans leur ensemble des rapports évidents de parallélisme, de telle sorte que le champ des fractures métallifères peut être considéré comme sillonné par des fentes à peu près contemporaines qui ne se croisent pas entre elles, ne se rejettent dans aucun cas, mais présentent des exemples nombreux de soudures. Quelques failles, postérieures aux filons métallifères, leur font éprouver des rejets; mais ces failles sont toujours stériles.

La puissance des filons est très-variable. Lorsqu'ils sont simples, ils ont ordinairement de 3 à 4 mètres, et il n'est pas rare de les voir se renfler jusqu'à 8 et 10; lorsqu'ils se ramifient, la puissance des branches se réduit souvent à 2 mètres, quelquefois à un seul, mais la somme de ces branches constitue presque toujours un écartement plus considérable que celui des parties plus simples (Burgstadter, Rosenhofer). Dans les filons simples et puissants, la partie métallifère n'occupe ordinairement qu'une portion des filons, les salbandes prenant une épaisseur considérable.

La plupart des gîtes métallifères du Hartz appartiennent à une seule et même période, contemporaine des éruptions amphiboliques et dioritiques, cette période ne devant pas être considérée comme un phénomène rapide, mais bien comme une époque de longue durée pendant laquelle ont eu lieu des éruptions analogues dans leurs produits, leurs formes et leurs influences. Il y a, en outre, des distinctions essentielles à établir entre les divers degrés de cette liaison géognostique qui subordonne les minerais à une classe de roches éruptives. Ainsi on peut distinguer :

1° Les minerais de fer oxydés, formant des *gîtes irréguliers* de contact, immédiatement subordonnés aux roches amphiboliques. (Gîtes de contact de Lerbach à Altenau.)

2° Les minerais d'argent, argent antimonial, argent sulfuré, argent rouge, etc., accompagnés de galène argentifère et d'une grande quantité d'arsenic natif, ayant pour gangues le spath cal-

caire et le quartz avec géodes tapissées de silicates et de substances zéolithiques. Ces minerais et ces gangues remplissent les *filons* du territoire d'Andreasberg ; ils sont postérieurs aux principales masses dioritiques et antérieurs à quelques autres.

3° Les galènes plus ou moins argentifères et les blendes accompagnées de pyrites martiales et cuivreuses, avec gangues de spath calcaire, spath ferrifère, quartz et baryte sulfatée. Ce sont les principaux filons du pays ; ils sont concentrés dans le district de Clausthal et postérieurs aux principales masses amphiboliques de Lerbach et d'Altenau.

4° Les filons cuprifères dans lesquels la pyrite cuivreuse est presque isolée des autres minerais ; les gangues sont quartzeuses, et l'on y trouve du spath fluor en plus grande quantité que dans les autres. Ces filons sont ceux de Lauterberg.

5° Enfin il y a encore au Hartz quelques exemples de filons peu puissants, caractérisés principalement par la présence du sulfure d'antimoine. Les filons de Stollberg, remarquables par le spath-fluor qui domine souvent les autres gangues, appartiennent à cette cinquième catégorie, et leur position vers le contact du terrain schisteux traversé par des masses porphyriques éruptives, les assimile, sous le rapport des conditions de gisement, aux filons d'Andreasberg. Près de Wernigerode, les filons sont cobaltifères. Le plomb sélénié de Tilkerode se trouvait dans un gîte placé immédiatement entre une roche éruptive (hypersthène et labrador) et le terrain schisteux ; outre le plomb sélénié, on y a trouvé de l'or natif et du palladium en paillettes ; la gangue était formée de spath calcaire et d'oxyde de fer.

La composition des filons de Clausthal et Zellerfeld varie dans des limites assez restreintes, elle se réunit aux caractères de forme et d'allure, pour indiquer que s'ils n'appartiennent pas strictement à la même époque de formation, ils se rapportent, du moins, à une même période. Cette composition générale peut être définie comme un remplissage bréchiforme des fentes, par des roches du toit et du mur, soudées par les gangues caractéristiques, parmi lesquelles dominent les spaths calcaires, la baryte sulfatée et le quartz, et par des minerais qui sont principalement la galène, la blende et les pyrites.

Dans tous les filons situés vers le nord et à mesure qu'on s'éloigne dans cette direction, l'importance des gangues spathiques diminue et celle des gangues quartzeuses augmente ; la baryte sulfatée devient aussi plus rare ; parmi les minerais, la galène devient moins argentifère et la proportion de blende augmente. Vers le sud, c'est, au contraire, la baryte sulfatée qui, parmi les gangues, prend plus d'importance aux dépens des carbonates, le quartz est éliminé, et, quant aux minerais, la blende disparaît, tandis que la galène devient plus argentifère. Le filon central de Zellerfeld forme, en quelque sorte, l'axe du système général et peut être considéré comme exprimant la composition moyenne par la réunion de toutes les gangues et minerais, les deux extrêmes étant situées, l'un vers Lauthenthal, où les gangues quartzeuses dominent et où les blendes éliminent quelquefois les galènes appauvries ; l'autre, au *Silbernaaler,* dont certaines parties sont composées presqu'exclusivement de baryte sulfatée, le minerai dominant étant la galène très-argentifère.

Comment sont groupés les gangues et les minerais ? Quelle est la proportion des minerais et, par conséquent, la richesse des filons ?

L'administration des mines du Hartz a cherché à fixer nos idées sur ces points essentiels, en présentant à l'exposition de 1867 une série de coupes détaillées, où la composition des filons en gangues et minerais était exprimée par diverses teintes, soit en plaçant à côté de chaque coupe les échantillons qui correspondaient aux diverses teintes. Ces coupes des filons du Hartz, dont les figures ci-après reproduisent une partie, sont prises aux plus grandes profondeurs reconnues par les travaux.

De tous temps, les plus grandes profondeurs qu'on ait pu atteindre dans les filons ont eu, pour les mineurs, un attrait particulier. Il semble que là on pourra lire plus facilement les origines mystérieuses des filons et de leurs minerais.

Les mines du Hartz ont atteint les plus grandes profondeurs que le travail humain ait pu creuser, et bientôt les travaux ouverts dans le Samson d'Andreasberg auront atteint 900 mètres, ceux de Clausthal ayant dépassé 600 mètres. Ces profondeurs nous montrent les filons à peu près tels qu'ils étaient dans les niveaux supérieurs.

moins cristallins, moins géodiques ; ni plus riches ni plus pauvres. Les longues galeries d'allongement ouvertes à différents niveaux indiquent dans les filons une succession de zones riches, séparées par des zones pauvres ou stériles. Les zones riches offrant ainsi l'apparence d'évents spéciaux, que les émanations métallifères ont pu parcourir plus facilement, depuis les profondeurs inconnues d'où elles se dégageaient, jusqu'à la surface où elles achevaient de se condenser ; les zones stériles nous représentent, au contraire, les parties des filons-fentes les moins ouvertes et les plus immédiatement obstruées par l'écroulement des épontes.

Chaque étude nouvelle arrive toujours à cette même conclusion : les filons sont des fentes ouvertes dans l'écorce terrestre, obéissant à toutes les modifications de forme et d'allure, à toutes les influences que peuvent présenter les fissures dans telle ou telle roche, dont les vides ont été postérieurement remplis par les émanations métallifères.

Les coupes récemment produites par l'administration du Hartz viennent à l'appui des théories aujourd'hui admises sur le mode de formation des filons.

L'examen de ces coupes démontre un fait que nous avons déjà signalé dans d'autres filons, c'est que leur formation et leur remplissage résultent d'une série de faits successifs, représentant une longue période. Ainsi, en ce qui concerne sa formation, ces filons puissants n'ont pas été ouverts par un seul mouvement du sol ; il y a eu succession de fractures et d'écartements. Les phénomènes du remplissage ont successivement varié pendant cette série d'écartements des mêmes plans de fracture, de telle sorte qu'un même filon est formé par la juxtaposition de plusieurs filons distincts.

Ce caractère de composition complexe se trouve exprimé par les coupes ci-après, prises : 1° dans le Burgstadter-Zug, quatorzième niveau comprenant une puissance de 38 mètres ; 2° dans le Zellerfelder Hauptgang, niveau de la cinquième galerie avec 7 mètres de puissance ; 3° dans le Lauthenthalsglucker Ganzug, sous une puissance de 12 mètres. Dans ces trois coupes on voit en quelque sorte, l'histoire complète des phénomènes successifs de fractures et de remplissages qui doivent représenter une longue période géologique.

La coupe du Burgstadter-Zug, figure 48, nous offre l'exemple

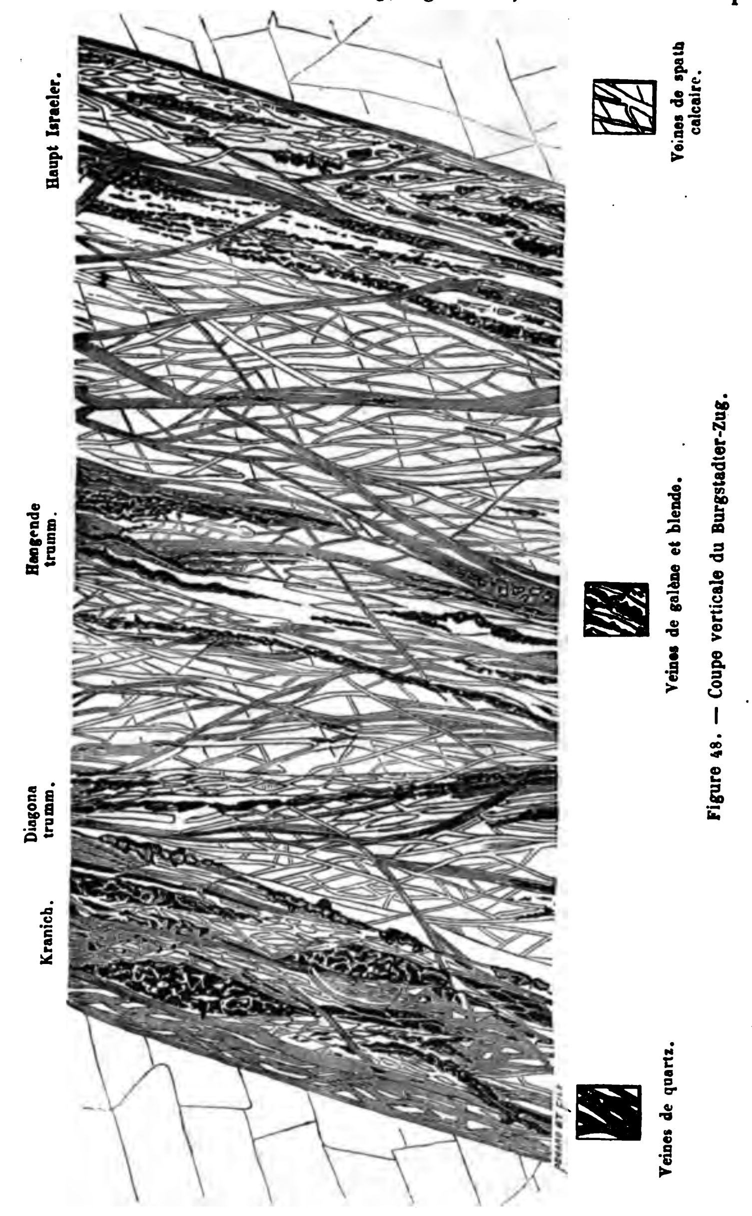


Figure 48. — Coupe verticale du Burgstadter-Zug.

d'une distension successive du terrain, composé de grauwackes

schisteuse et de schiste argileux. Cette distension, à l'endroit désigné, au quatorzième étage, a déterminé la formation de cinq filons distincts, dont l'ensemble occupe une largeur totale de 38 mètres.

Les puissances réunies des cinq filons métallifères qui forment le zug ou faisceau comprennent environ la moitié de cet espace.

Le premier filon, *Kranichergang,* a 6 mètres de puissance ; il est au toit et semble s'être substitué à une couche de schiste argileux distendue et fissurée dans tous les sens.

Dans cette épaisseur de 6 mètres, le filon Kranich présente, comme élément dominant, le schiste argileux plus ou moins modifié et pénétré par les éléments adventifs qui ont formé le remplissage et qui sont : le spath calcaire, le quartz, la galène, la pyrite et la blende.

Le spath calcaire forme au mur une zone rubanée d'un mètre d'épaisseur, avec axe en quartz géodique enveloppé de particules de galène ; le reste de l'épaisseur présente un enchevêtrement de schistes et de grauwackes fragmentaires enveloppés par des zones de quartz et de galène, qui ont une tendance à se rubaner. Les zones galénifères ont de 0^m10 à 0^m25 et 0^m75. Le minerai y est mélangé de gangue et de pyrite, et la masse principale doit être bocardée.

Le filon du toit, *hangende trumm*, présente de beaux rubanements de spath calcaire avec veines de galène géodique, et de quartz; à l'étage indiqué, il est réuni au Kranich par un filon oblique, *diagonal trumm*, dont le caractère principal est le quartz et la galène.

Le filon du mur est divisé en deux parties distinctes accolées, mais qui se séparent en d'autres points, de manière à former deux filons séparés : *Haupt-Gang* et *Israeler-Gang*. Le premier est parfaitement rubané, le spath calcaire y domine, et les zones quartzeuses qui alternent à plusieurs reprises sont toutes assez riches en galène. Le second est une couche de schiste distendue et injectée des mêmes gangues et minerais.

Ces quatre filons, qui forment le *Zug* ou faisceau de *Burgstadter,* sont séparés par des grauwackes distendues et sillonnées de fissures remplies des mêmes gangues et minerais qui caractérisent les filons.

L'ensemble de ce zug peut être considéré comme constituant un même filon puissant, sous forme de stockwerk, composé de parties rubanées, où les gangues et les minerais tendent à s'isoler, et de parties réticulées formées par les roches encaissantes, plus ou moins distendues et injectées des mêmes gangues et minerais.

Le filon principal de Zellerfeld présente des caractères tout différents, sur le point où la coupe, fig. 49, a été prise, coupe

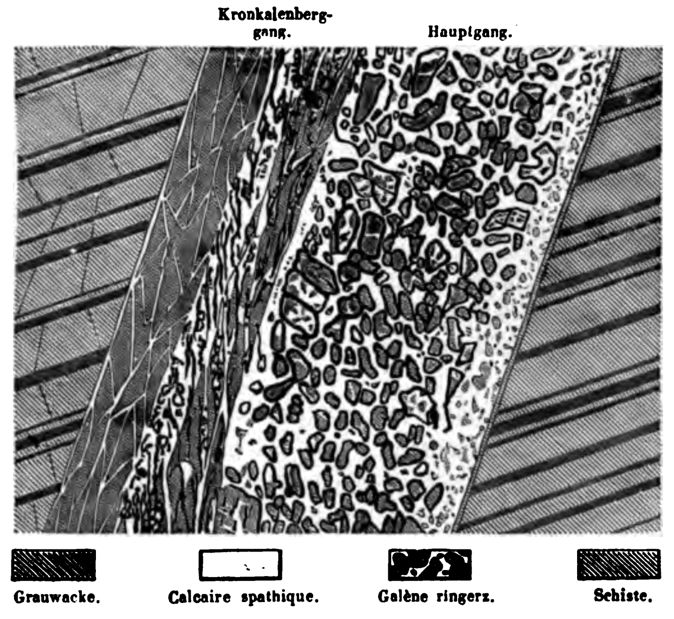


Fig. 49. — Coupe du Zellerfelder Hauptgang.

citée précédemment au point de vue de la disposition du minerai en zones annulaires et que nous examinerons maintenant au point de vue de l'ensemble.

Une fissure de 7 mètres, inclinée de 80 à 85 degrés, a été ouverte dans des alternances de schiste argileux et de grauwackes. Au niveau indiqué, elle a été remplie de manière à former trois filons distincts.

Au toit, le filon dit *Kronkalenberger-Gang* en comprend deux : la zone du toit, sorte de salbande remplie par du schiste argileux réticulé de quartz plombifère et de gangues spathiques, puis une seconde zone beaucoup plus riche que la première, dans laquelle

s'isolent les veines spathiques sillonnées de veines ondulées de galène.

Le filon principal du mur a un tout autre caractère, il est fragmentaire. C'est une fente remplie de blocs et de fragments de grauwackes. D'abord incohérents, ces fragments ont été incrustés de quartz cristallin auquel a succédé la galène. Une dernière infiltration de quartz a complété le remplissage, de telle sorte que les blocs et morceaux de filon actuellement extraits et brisés offrent des zones concentriques de quartz et de galène, dont un fragment de grauwacke occupe toujours le centre.

L'historique de la formation successive est encore plus nettement exprimé dans ce filon que dans le précédent. Ce sont bien trois filons distincts dont le remplissage composé des mêmes gangues et minerais diffère essentiellement par la structure et les proportions.

Dans les trois filons, les roches encaissantes dominent les autres éléments du remplissage ; mais les conditions de leur structure présentent des différences que le dessin seul peut bien faire apprécier.

Dans le Kronkalenberg le terrain encaissant semble encore sur place, détaché de l'éponte par une distension générale et par un réseau de veines que les gangues spathiques et la galène sont venues remplir. Dans le Hauptgang, l'écartement du toit et du mur a été net, et les épontes se sont écroulées dans le vide en parcourant des distances considérables. Il est évident que ces différences ne peuvent s'être produites que par des actions exerééees dans deux fissures successives.

A l'extrémité du Hartz, les filons de Lauthenthal présentent une structure plus complexe et des minerais plus variés, consistant en blende, galène et pyrite cuivreuse.

On remarquera d'abord sur la coupe que le *rejet*, c'est-à-dire le déplacement du toit par rapport au mur a été considérable, car l'éponte du toit est formée par les alternances de grauwackes et de schistes qui constituent le sol de cette partie du Hartz, tandis que l'éponte du mur est entièrement formée de calcaires devoniens tellement supérieurs qu'il a fallu un rejet de plusieurs centaines de mètres pour les amener en face des grauwackes.

Le *Glucker-Gang* de Lauthenthal, fig. 50, est aussi riche en



Fig. 50. — Coupe verticale du filon Lauthenthals glucker.

blende qu'en galène; il est encaissé ainsi que nous venons de

l'expliquer, au mur par des calcaires devoniens et au toit par des alternances de grauwackes et d'argiles schisteuses sillonnées par des veines de calcaire spathique.

La gangue générale du filon, est le spath calcaire ou braunspath sillonné de veines réticulées de quartz et de rubanements géodiques de galène et de blende. Ces gangues englobent des masses anguleuses et de nombreux fragments de schistes, appartenant à l'éponte du toit.

Deux filons ou salbandes stériles composés de spath calcaire avec veines de quartz, isolent le filon métallifère du toit et du mur. Les veines de quartz qui sillonnent le filon, sont évidemment postérieures au spath calcaire et aux minerais; en plusieurs points de la coupe, elles traversent et rejettent, en effet, les zones métallifères, comme le ferait un filon croiseur.

Dans l'intérieur du filon, on distingue le réseau formé par les veines de galène, de blende et de pyrite cuivreuse, minéraux dus probablement à des actions distinctes.

Le filon de Lauthenthal met ainsi en évidence par la variété et la structure de ses gangues et de ses minerais, les actions successives des phénomènes de remplissage; chaque élément nouveau ayant dû être amené à la suite de nouvelles fractures et de nouveaux vides.

Après cet examen des conditions de composition, de structure et d'étendue des filons du Hartz, il ne sera pas inutile de donner quelques détails sur la production. Tout est connu dans ces filons, sauf la profondeur. Or on entend souvent répéter dans un grand nombre de districts métallifères, que les gîtes s'appauvrissent en profondeur. Il pourrait donc paraître extraordinaire d'entreprendre des travaux aussi considérables que ceux qui sont exécutés ou en cours d'exécution au Hartz, alors que les produits rémunérateurs sont uniquement basés sur la richesse des filons à des profondeurs rarement atteintes par les travaux souterrains. Il importe de ne pas accepter une opinion aussi dangereuse pour l'avenir des exploitations, sans bien se rendre compte des causes qui ont pu la déterminer et les filons du Hartz peuvent fournir quelques éléments pour l'apprécier.

La première de ces causes résulte du fait même de l'approfon-

dissement des travaux. Supposons un filon de composition constante et médiocre : les parties supérieures pourront donner des produits avantageux, l'exploitation est facile, les frais de toute nature sont à leur minimum et facilement compensés jusqu'à une profondeur de 100 et même 200 mètres. Mais, à mesure que les travaux s'étendent et s'approfondissent, les frais de roulage et d'entretien des travaux, les frais d'aérage, d'extraction et d'épuisement augmentent rapidement ; tout est difficile et plus coûteux, et de 200 à 400 mètres de profondeur, les produits deviennent de moins en moins rémunérateurs ; de 400 à 600 mètres, niveaux actuels des travaux du Hartz, il faut, pour assurer les divers services, des dépenses croissantes, et l'entreprise peut facilement arriver à des pertes, sans que la composition moyenne se soit sensiblement appauvrie.

Nous venons de supposer une composition constante ; mais en admettant les variations habituelles de puissance et de richesse des filons, la situation devient bien plus difficile au point de vue de l'approfondissement. Rien n'est plus onéreux dans les exploitations métalliques que les travaux de recherche et les travaux préparatoires qui s'exécutent dans les roches stériles et qui exigent un temps considérable. A la dépense en argent et en temps, s'ajoutent tous les doutes sur les résultats de ces travaux qui peuvent ne rien trouver, de telle sorte qu'un moment de découragement peut déterminer l'abandon. Toutes les fois que cet abandon se produira, la conclusion naturelle sera, pour le plus grand nombre, l'appauvrissement ou l'épuisement du gîte.

Ainsi tout se réunit pour mettre un obstacle à l'approfondissement des mines, et les travaux du Hartz, établis sur des étendues considérables, à des profondeurs de 600 à 700 mètres, sont un exemple unique de persévérance. On apprécie cette persévérance, lorsqu'on voit tous les travaux qui ont dû être exécutés pour assurer ce développement des exploitations ; la galerie d'écoulement Ernest-Auguste vient d'être achevée, son exécution a exigé 12 années et 3 millions. La profonde galerie d'eau, avec les deux machines à colonne d'eau et le puits vertical où elles seront placées, exige un complément de plusieurs années et 1,200,000 francs.

La régularité de la production des mines du Hartz est une démonstration de l'uniformité générale des conditions de l'exploita-

tion. Sans doute, le nombre des filons exploités et la grande étendue des travaux permettent d'établir, d'avance, pour les mines du Hartz, un budget de dépenses et de recettes, les mines les plus riches pouvant toujours venir compenser les déficits qui peuvent se produire dans les plus pauvres. Mais cet équilibre n'aurait pu être soutenu depuis 50 ans, si les conditions générales ne s'étaient bien maintenues.

La production des mines du Hartz est, en chiffres ronds :

Minerais aurifères et argentifères.	4,000	tonnes.
Galène.	90,000	—
Blende	1,500	—
Pyrites, arsenic, etc	1,500	—
Total des minerais.	97,000	tonnes.

Les produits de ces minerais ont été, pour 1864 :

Or.	6k,125	21,082	francs.
Argent.	10,215 ,735	2,268,498	—
Plomb et Titane	4,612,700	2,073,037	—
Cuivre.	66,650	151,878	—
Arsenic	10,000	3,956	—
Blende, barytes, etc		70,000	—
Total.		4,588,371	francs.

Cette production a exigé le concours de 2,450 mineurs, d'environ 2,000 manœuvres sur les haldes, laveurs, trieurs, etc.; plus 420 ouvriers aux fonderies. Ensemble 4,880 ouvriers. Ce compte ne comprenant pas l'exploitation des minerais de fer et les forges, qui ont une certaine importance au Hartz.

La production des mines du Hartz est presque tous les ans la même, grâce à l'aménagement rationnel des chantiers; aussi, nous avons appris avec satisfaction que cet équilibre n'avait jamais été plus facile à maintenir. De très-belles zones métallifères, découvertes pendant ces dernières années, ont apporté une preuve de plus à la continuité des minerais en profondeur, question essentielle que nous nous réservons d'étudier d'une manière plus générale dans un chapitre spécial.

Le gîte du Rammelsberg précédemment décrit et figuré est un autre centre de production qui dépend du Hartz. On a retrouvé la

suite de ce gîte, en direction et dans un autre plan de stratification des schistes argileux, de telle sorte que cette mine est aujourd'hui très-prospère. Ses produits sont annuellement de 400 tonnes de plomb, 250 tonnes de cuivre, 300 tonnes de zinc ou de sulfate de zinc, 1,000 kilogrammes d'argent et 4 à 5 kilog. d'or, le tout extrait du magma métallifère le plus complexe et le plus difficile à traiter.

En produisant à l'exposition de 1867 la carte et les coupes des filons, la série des minerais, l'Administration des mines du Hartz a donné une preuve nouvelle de ses études et de ses immenses travaux auxquels nous sommes heureux de rendre un nouvel hommage.

Les *provinces rhénanes* de la Prusse sont riches en gîtes métallifères, et la multiplicité des exploitations justifie les écoles établies à Bonn et à Siegen, dont les enseignements ont contribué au développement de l'industrie minière.

Le massif de transition du Rhin, comprenant les provinces du *Westerwald*, du *Taunus*, de l'*Eifel* et du *Hundsruck*, présente quelques exemples de gîtes assez remarquables.

Cette contrée n'offre pas, comme les précédentes, une forme déterminée, coordonnée à un point culminant ou à une crête de partage ; c'est une surface inégale et ondulée, dont l'accidentation générale ne présente aucun trait d'ensemble. Les roches schisteuses en composent toute la surface, avec prédominance des schistes argileux à l'ouest et des grauwackes à l'est ; les roches ignées, en masses clair-semées, ne constituent aucun de ces centres de soulèvement qui déterminent à la fois un caractère physique et les traits de direction générale, d'inclinaison et de succession des dépôts sédimentaires qui les enveloppent.

Les gîtes métallifères paraissent, en quelque sorte, partager cette absence d'unité et de centralisation des conditions physiques et géognostiques de la contrée. Ils se trouvent, comme par l'effet du hasard, dans telle montagne, dans telle vallée, sans qu'on puisse rattacher leur présence, soit aux masses éruptives, qui n'affleurent pas, soit à la forme physique, qui n'a aucun trait prononcé. Aussi trouve-t-on ces gîtes clair-semés, se rapportant bien plus souvent aux types irréguliers qu'aux filons.

Le pays de Siegen, compris entre le Rhin et Cassel, est la partie de ce terrain de transition la plus riche en gîtes métallifères.

Les minerais de fer, consistant en peroxydes, et surtout en fer spathique manganésifère, constituent le trait principal de la richesse minérale de ce district. Ces minerais ont donné naissance à la fabrication directe des fontes à aciers et servent de base aux immenses usines d'Essen, de Dortmund, etc. Les gîtes d'oxydes de manganèse, nécessaires à cette fabrication, se trouvent presque toujours liés aux gîtes ferrifères.

Il existe, en outre, dans le massif des environs de Siegen, une quantité considérable de filons ou gîtes irréguliers, contenant des minerais sulfurés, blende, galène, argentifère, pyrite cuivreuse, cobalt arsenical, etc.

On peut rapporter tous ces gîtes métallifères à trois classes distinctes :

1° Les filons de fer spathique, filons puissants, dont le gîte du Stahlberg (planche XIV) est l'exemple le plus développé. Ces gîtes

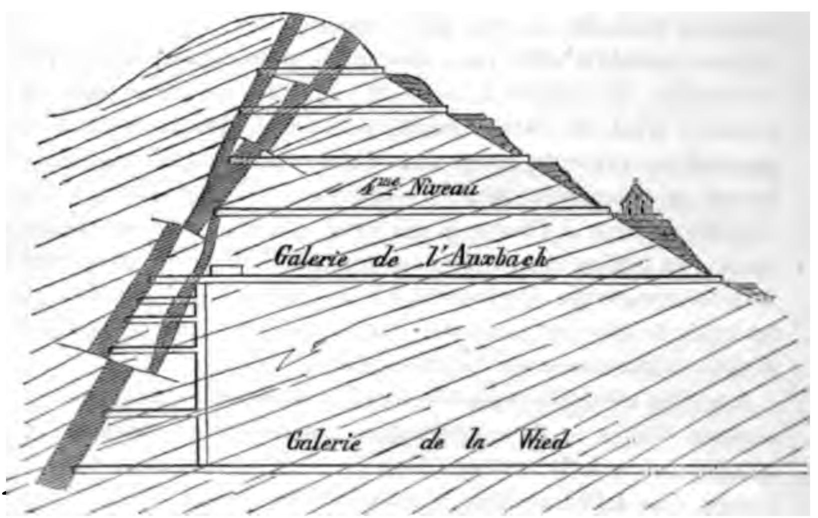


Fig. 51. — Coupe verticale des filons d'Arnzau.

affectent souvent des formes et allures plus rapprochées de celles de filons réguliers. Ainsi, à Arnzau, près Linz, il existe un véri-

table filon de fer spathique dont la puissance varie de 2 à 12 mètres. Ce filon a été suivi en direction sur une longueur de plus de 300 mètres. Vers la région centrale il était à la fois puissant et bifurqué ainsi que l'indique la coupe figure 51.

Le filon d'Arnzau contenait des proportions notables de galène; il a été le centre d'une exploitation active, et la galerie de la Wied qui en a asséché les parties supérieures avait près de 2,000 mètres de longueur, Cette exploitation est aujourd'hui presque abandonnée, ainsi que celle d'un grand nombre de filons analogues de fer spathique plus ou moins riches en blende et en galène, notamment aux environs d'Ucherath.

2° Les filons de blende et galène, qui sont les plus nombreux. En première ligne se trouvent ceux qui forment le faisceau d'Holzappel et d'Obernhoff, et s'étendent jusque vers Saint-Goar, de l'autre côté du Rhin.

Le faisceau d'Holzappel est remarquable par sa continuité. Des fentes de 0m30 à 1 mètre, n'ont pas, en général, cette continuité qui n'appartient qu'aux filons très-puissants. Sur ce parcours de plus de 40 kilomètres, ces filons varient de composition; la région d'Holzappel et d'Obernhoff est la plus riche en galène argentifère; vers Saint-Goar et Velmich, la blende leur donne un caractère différent; sur beaucoup de points ils sont stériles. Nous avons précédemment donné quelques détails sur la composition et l'allure de ce faisceau intéressant, nous aurons l'occasion de les compléter en parlant de la distribution des minerais dans les filons

Dans le Hundsruck, les filons sont plus rares que sur la rive droite du Rhin, mais la formation plombifère est cependant représentée par quelques gîtes intéressants. Ceux de Kautenbach aux environs de Berncastel présentent un intérêt tout spécial par l'abondance des plombs phosphatés. Ces phosphates souvent mélangés à la galène ont donné lieu à de nombreux cas d'épigénies, le sulfure s'étant substitué au phosphate et affectant ses formes hexagonales.

Parmi les filons, caractérisés par la blende et la galène qui sillonnent le Westerwald, quelques-uns se lient aux filons caractérisés par le fer spathique; tels sont ceux du Schwabengrube, dans le Stahlberg; ceux de l'Antonius, etc., aux environs de Siegburg. Ces filons sont très-remarquables par leur situation

presque toujours concordante avec la stratification du terrain et les allures souvent curvilignes qui en résultent.

3° Les filons cuprifères, à gangues de quartz, constituent la troisième classe. Le plus célèbre de tous est celui de Rheinbreitbach, qui a fourni de beaux échantillons de cuivre oxydulé capillaire et de cuivre phosphaté. Le minerai normal en profondeur est un cuivre panaché, mélangé de pyrite et de sulfure. Dans quelques autres filons de cette classe, la pyrite cuivreuse est le minerai dominant, mais tous ont le quartz pour gangue presque exclusive.

Aux environs de Dillenburg, les filons cuprifères, caractérisés par le fahlerz, sillonnent les terrains trappéens; nous aurons à détailler leurs caractères en étudiant d'une manière spéciale les faits qui établissent leurs relations avec la sortie des trapps. Parmi ces filons, celui d'Aurora est bien connu par les belles cristallisations de falherz qu'il renfermait.

4° Les filons sont presque tous concentrés dans les terrains de grauwackes et de schistes argileux; mais, au contact de ces terrains avec les schistes et calcaires carbonifères, il existe des gîtes de nature toute différente : ce sont les hydroxydes de fer et les calamines, dont les conditions sont tout à fait analogues à celles que nous avons signalées en Belgique.

Ces gîtes traversent les provinces rhénanes des environs de Liége à Stolberg et jusque vers Brilon, sur la rive droite du Rhin, se maintenant toujours dans la même zone géologique.

Les minerais de cobalt exploités dans le pays de Siegen, soit aux environs de Riechelsdorf, se lient aux gîtes précédemment énumérés; ils sont remarquables par leur pauvreté. C'est à peine si l'on distingue la présence du cobalt gris dans les minerais livrés aux bocards, et cependant le perfectionnement des procédés de lavage permet d'isoler des schlicks assez riches pour tous les usages. Rien n'est plus intéressant que ces laveries qui mettent en valeur des minerais autrefois délaissés et qui, recevant d'un côté les roches presque stériles, livrent à l'extrémité opposée des schlicks métalliques en poudre presque impalpable.

La Silésie est une des provinces de la Prusse les plus riches en minerais et le voisinage de la houille y a facilité le développe-

ment des exploitations. Les oxydes de fer, la calamine et la galène sont les caractéristiques des gîtes les plus importants. Ces minerais se trouvent non-seulement dans les hauts pays du Riesengebirge et de l'Eulengebirge, mais aussi dans les parties basses, notamment aux environs de Tarnowitz et de Beuthen.

A Scharley, sur une longueur de 11 kilomètres et une largeur de 7, les calcaires du muschelkalk comprennent des couches métallifères contenant de la calamine, de la galène et des fers hydroxydés. Ces couches reproduisent les phénomènes des grès triasiques de Commern, dans des conditions qui en donnent l'explication.

Les couches chargées de calamme au sud-est de Tarnowitz, de minerais de fer au nord-est, et les couches spécialement riches en galène qui s'étendent de Georgenberg à Benthen, se lient en effet à des amas et filons de contact dont l'origine souterraine ne peut être mise en doute. Ces filons, d'après les conditions de leur gisement, de leurs formes et allures, sont évidemment les évents par lesquels les émanations métallifères ont été amenées à la surface et stratifiées dans les eaux sédimentaires où elles ont mélangé leurs produits aux éléments arénacés et calcaires.

Ainsi l'étude des gîtes calaminaires de la Silésie a conduit les géologues et les ingénieurs aux mêmes conclusions que celle de des gîtes de la Belgique. Les dépôts stratifiés en apparence dans quelques bassins circonscrits, ne sont autre chose que des épanchements superficiels des gîtes formés par actions souterraines. C'est ainsi que les actions volcaniques qui intercalent dans les terrains qu'ils traversent des dykes et des filons éruptifs, stratifient autour des points d'éruption leurs produits fragmentaires mélangés à ceux des actions sédimentaires.

La Prusse est justement fière de ses productions minérales ; elles ne représentent pas seulement les dons de la nature, elles sont conquises par les études géologiques et par l'industrie la plus méritante. On se souvient des pyramides proportionnelles par lesquelles la Prusse avait représenté, à l'exposition universelle de 1867, les progrès et les valeurs de l'exploitation de ses mines ; cette statistique accusait les chiffres suivants pour les minerais exploités en 1865 :

Minerais de fer	1,612,823	tonnes.
— de cuivre	134,100	—
— de plomb	54,075	—
— de zinc	305,825	—
Pyrites	36,000	—

Quantités qui se trouvent augmentées, par l'annexion des mines du Hartz, de la Hesse et du Nassau, de 2,047,000 tonnes de minerais de fer, de 15,000 tonnes de minerais de cuivre, de 108 tonnes de minerais de plomb et de 6,000 tonnes de minerais de zinc.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'AUTRICHE

Les statistiques fournissent des évaluations des productions minérales de l'Autriche qui portent la valeur totale des métaux produits, à 190 millions de francs, valeur à peu près égale à celle qui est attribuée aux produits similaires de la Prusse. Mais les éléments qui constituent cette valeur en Autriche sont très-différents.

Ce sont les mines de la Hongrie et de la Transylvanie qui, par leur richesse en or et en argent, donnent un caractère spécial à cette production.

Le Tyrol et la Bohême contiennent aussi des gîtes métallifères variés et d'un grand intérêt, parmi lesquels on retrouve une grande partie des faits signalés en Allemagne. Enfin, sous le rapport des minerais de fer, les gîtes de la Styrie et de la Carinthie sont la base d'une industrie célèbre par la qualité de ses produits.

Ce qui est à remarquer dans les exploitations minières de l'Autriche, dans les provinces de la Hongrie et de Transylvanie, comme dans celles de l'Allemagne du Nord, c'est le bas titre des minerais. Procéder à l'abatage méthodique d'un minerai riche et immédiatement réalisable, c'est mettre à profit un don gratuit de la nature; mais tirer parti de minerais d'or, d'argent, de cuivre, de nickel ou de cobalt dans lesquels la combinaison métallique est à peine discernable, c'est la véritable science des mines, celle qui doit nous servir de guide et de modèle.

La production des mines de la Hongrie et de la Transylvanie est d'environ 2,000 kilogrammes d'or et de 40,000 kilogrammes d'argent. Cette production est fournie par des exploitations nombreuses, ouvertes dans plusieurs massifs montagneux accidentés par les diorites et les trachytes.

Les filons de Schemnitz sont signalés par les géologues allemands comme contenus dans des diorites ou grunsteins enveloppés de trachytes. Mais M. de Selle qui les a étudiés récemment considère ces diorites comme des variétés amphiboliques des trachytes; ces roches diverses appartiendraient, d'après lui, à une seule et même période.

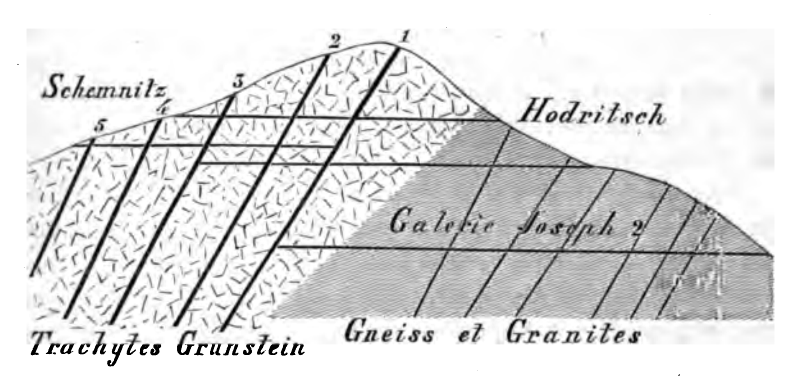


Fig. 52. Coupe des filons à Schemnitz.

Ces filons, au nombre de huit, sont presque tous parallèles et distants entre eux de 250 à 800 mètres; cinq seulement sont indiqués sur la coupe, figure 52, qui nous est communiquée par M. de Selle.

Le filon numéro 3, dit de l'Hôpital (Spitaler-Hauptgang), est le filon principal. Il est connu sur une longueur de 7,500 mètres, sa puissance variant de 4 à 8 mètres. Sa gangue est feldspathique, c'est-à-dire formée de débris des épontes, soudés par des veines de quartz et de spath calcaire. La région la plus métallifère a été ouverte jusqu'à une profondeur de 530 mètres; on y trouve de la galène, de la blende, des pyrites de fer et de cuivre, des sulfures d'argent et de l'or natif.

Le filon Thérèse, indiqué sous le numéro 1, est également

remarquable par sa richesse. Sa puissance n'est guère que de 2 à 4 mètres, mais il est en grande partie rempli d'une gangue quartzeuse, sorte de jaspe ferrugineux aurifère, dit *zinople*, qui rend environ 15 grammes d'or par tonne.

Les minerais consistent en galène, blende, fahlerz, pyrites cuivreuses, polybasites et pyrites argentifères et aurifères.

Les filons d'Hodritsch, qui sillonnent les granites, syénites et gneiss, sont moins puissants que ceux de Schemnitz. Ils sont composés des mêmes éléments et paraissent appartenir à la même formation de fissures et d'actions métallifères, dans un milieu différent.

Ces groupes de filons sont de temps immémorial l'objet d'une exploitation active. Comme au Hartz, les galeries d'écoulement se sont succédé, et la dernière, la galerie Joseph II, ouverte dans la vallée de la Gran, et traversant les filons d'Hodritsch, doit pénétrer dans les filons de Schemnitz et atteindre un développement de 16 kilomètres.

A Kremnitz, au nord de Schemnitz, un filon de 10 à 30 mètres de puissance, partagé en trois branches principales et accompagné de nombreuses fissures subordonnées, traverse dans toute sa longueur un massif de diorite d'environ 3,500 mètres de longueur sur une largeur de 1,200, encaissé de toutes parts dans les roches trachytiques. Ce filon est actuellement exploité jusqu'au niveau de 400 mètres ; les gangues quartzeuses empâtent de nombreux fragments des épontes dioritiques; elles contiennent des pyrites, de l'antimoine sulfuré, de l'or natif et des sulfures d'argent. On extrait annuellement de ce seul filon 50 à 60,000 tonnes de minerais bruts.

Les observations faites en Hongrie et en Transylvanie ont amené les géologues à considérer les trachytes trappéens comme les roches métallifères. Non-seulement les filons traversent ces roches elles-mêmes, mais sur beaucoup de points, les minerais y pénètrent en veines réticulées.

Le district transylvanien de Nagybanya, Felsobanya, Kapnick, Rida, etc., est encore plus célèbre par ses minerais.

Le sol du district métallifère est fortement accidenté; les sommités sont formées de dykes et dômes trachytiques sans l'intervention desquels les minerais semblent ne plus exister.

Les trachytes, souvent désignés par les géologues du pays sous le nom de *Timazite*, traversent des argiles et des grès que l'on rapporte au terrain tertiaire (éocène). Ces argiles, rouges et feuilletées, n'ont pas les caractères de l'époque, et il faut se rappeler, dit M. de Selle, qu'il existe dans les Alpes, près de Gap par exemple, des phyllades qui correspondent à l'étage du gypse parisien, pour admettre leur âge tertiaire.

Au-dessous, on trouve en effet la craie qui affleure en dehors du district des mines.

Les filons de la Transylvanie ont des analogies avec ceux de Schemnitz, les minerais y sont en beaucoup de points dans les fissures du trachyte et sur ses parois et vers les contacts des dépôts tertiaires avec la timazite; ces dépôts sont parfois eux-mêmes imprégnés de minerais, de telle sorte que M. de Selle a rapporté de son voyage cette conclusion absolue, que les minerais sont subordonnés aux trachytes et postérieurs aux dépôts tertiaires éocènes.

Dans le district métallifère occidental de la Transylvanie dont les mines principales sont Vöröspatak, Offenbánya et Nagyag, le sol est formé par des calcaires crétacés en partie recouverts par des grès tertiaires, le tout traversé par des dykes et masses de trachyte trappéen, *timazite*, auxquelles sont encore subordonnés les gîtes métallifères.

Dans cette région montagneuse se rassemblent et s'écoulent les eaux de l'Aranios (en hongrois *le doré*) ; c'est en effet la région de l'or, l'Eldorado de la Transylvanie ; on le trouve à l'état d'or natif, de pyrites aurifères, et de tellure aurifère.

La galerie François, à Nagyag, traverse successivement les argiles rouges, puis les grès tertiaires en contact avec les trachytes, pour pénétrer dans ces roches et exploiter les filons et veines métallifères réticulées, qui se trouvent vers les contacts et jusque dans la masse trachytique.

Les filons sont nombreux et peu puissants, c'est un réseau complexe de veines métallifères, sillonnant tantôt les trachytes, tantôt les grès traversés et soulevés. Les oxydes de fer, les braunspaths, les carbonates et silicates de manganèse formant des concrétions et des rubanements avec le quartz cristallin, les veines et

dendrites de tellure auro-argentifère et de tellure auro-plombifère, représentent dans les collections ces terrains métallifères par des spécimens d'un caractère tout à fait spécial.

La nature de ces minerais, et surtout les conditions de leur gîsement qui leur assigne un âge très-moderne, donnent aux gîtes métallifères de la Hongrie et de la Transylvanie un intérêt géologique sur lequel nous aurons à revenir.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'ITALIE

Le sol de l'Italie contient plusieurs districts métallifères, et il est naturel de penser que la civilisation romaine, qui a laissé partout des traces de ses travaux miniers, n'a pas dû négliger les gîtes de son propre pays. Les traces de ces travaux et de ceux de la renaissance suffisent en effet pour signaler l'existence des gîtes métallifères, lors même que les conditions géologiques des terrains de la composition des affleurements ne les mettent pas en évidence.

Les districts les plus riches sont: les versants méridionaux des Alpes; la chaîne métallifère de la Toscane et l'île d'Elbe qui en dépend; l'île de Sardaigne.

Le versant italien des Alpes présente des caractères différents sous tous les rapports de ceux du versant nord. Il est plus abrupt, les roches stratifiées y sont dans un état de métamorphisme plus prononcé, et les masses éruptives y apparaissent souvent à la surface. Ces conditions sont plus favorables aux gîtes métallifères, et l'état de dénudation du sol permet de reconnaître d'autant plus facilement l'existence des minerais.

Ces gîtes conservent d'ailleurs les caractères de multiplicité et de dispersion, qui existent dans toutes les autres parties des Alpes. Les plus importants comme masses minérales sont les minerais de fer, mais cependant les exploitations stables y sont des exceptions.

Dans le val d'Aoste et la province d'Yvrée, notamment à Cogne et à Traverselle, les roches métamorphiques qui ont accompagné

la serpentine contiennent des amas de fer oxydulé qui ont fourni jusqu'à 10,000 tonnes par année. Les minéraux variés et les cristallisations bien connues qui se trouvent dans ces terrains leur donnent un caractère éminemment métallifère et du plus grand intérêt.

Sur les grands versants du Simplon, du mont Rose, du Saint-Gothard, du Splugen, etc., il existe des filons et des injections métamorphiques de pyrites aurifères dont un assez grand nombre ont été exploités. Dans les vallées de Gondo, d'Anzasca, de Toppa, d'Antrona, de la Sesia, ces exploitations ont eu une certaine activité; elles disparaissent progressivement par l'élévation des prix de main-d'œuvre qui ne permet plus de se contenter de gains aussi modestes.

Des pyrites magnétiques nickelifères ont été trouvées dans les mêmes localités et surtout à Locarno (Sesia) et à Varallo (Yvrée).

Les Alpes se lient aux Apennins par les Alpes apuanes de Camporaghena, et le caractère métallifère se maintient, dans ces terrains, profondément accidenté et métamorphique. Au Bottino, près Serravezza, un riche filon de galène argentifère attire principalement l'attention; mais sur une multitude d'autres points les affleurements de galène, de pyrite cuivreuse ou de falherz (val di Castello), de cinabre (Ripa), etc., démontrent que ce gîte est accompagné de beaucoup d'autres.

Sur 35 à 40,000 tonnes de minerais de cuivre, pyriteux ou panaché, que produit l'Italie, la Toscane en fournit les trois quarts. Nous avons décrit précédemment les gîtes principaux de la chaîne métallifère et notamment celui de Monte-Catini qui fournit la plus grande partie des minerais de cuivre, ceux de l'île d'Elbe qui livrent annuellement plus de 100,000 tonnes de minerais de fer.

Tous ces gîtes sont en quelque sorte subordonnés aux éruptions serpentineuses qui ont soulevé la chaîne métallifère; ils appartiennent à quatre catégories distinctes, qui sont :

1° Des gîtes de contact, consistant en amas et filons irréguliers, placés suivant les plans de contact des serpentines et des gabbros altérés ; ces gîtes pénètrent même dans les masses serpentineuses, et y constituent des veines qui peuvent être considérées comme les fissures de retrait de ces masses. Dans toutes les

parties de la chaîne, des émanations exclusivement cuprifères ont ainsi succédé à la sortie des serpentines, et sur quelques points les minerais sont même directement contenus dans les masses éruptives.

2° Des dykes éruptifs composés d'amphiboles, d'hématites et d'yénites, qui ont soulevé et fracturé le sol du Campigliese. Ces dykes sont métallifères ; ils contiennent du cuivre pyriteux, du fer sulfuré, de la galène et de la blende, disséminés de telle sorte que les gangues et les minerais sont évidemment contemporains. Ces dykes s'isolent des éruptions serpentineuses par des directions spéciales.

3° Des amas et dykes éruptifs composés presque exclusivement de fer à tous les degrés d'oxydation. Les minerais de fer de l'île d'Elbe forment le type de cette classe de gîtes, également représentée dans l'intérieur de la chaîne métallifère. Ces minerais sont liés également aux éruptions serpentineuses.

4° Des coudhes quartzeuses contenues dans la formation crétacée inférieure du Massetano et des environs de Montieri. Ces couches sont imprégnées de veinules et de particules métallifères suivant une zone dirigée de Montieri à l'Accesa ; leur développement concorde toujours avec un métamorphisme très-prononcé de toutes les couches du terrain, et parmi les effets de ce métamorphisme on remarque surtout l'intrusion du quartz et la transformation des schistes en alunites. Les minerais disséminés dans ces couches quartzeuses comprennent tous ceux de la série des gîtes précédents : le cuivre pyriteux, le cuivre gris, la blende, la galène, des sulfures multiples argentifères, enfin le fer oxydé et pyriteux. Les phénomènes prolongés qui seuls ont pu donner naissance à cette zone métallifère comprennent donc, suivant toute probabilité, la plus grande partie de la durée de l'action génératrice.

Ces quatre types, auxquels nous rapportons ainsi tous les gîtes métallifères de la Toscane, sont, en réalité, liés entre eux par des gîtes de passage. Néanmoins il est à remarquer qu'à part le type des gîtes placés au contact des serpentines, gîtes qui constituent un phénomène général dans la chaîne, les autres types se sont développés dans trois districts séparés où ils dominent et qu'ils caractérisent d'une manière différente. Nous avons déjà décrit les gîtes ferrifères de l'île d'Elbe ainsi que les gîtes cuprifères de la

chaîne métallifère; nous aurons occasion de revenir encore sur les conditions de leur gisement, en détaillant les relations géologiques qui les lient aux serpentines et aux amphibolites.

Les entreprises minières suivent des phases d'engouement qui sont, en général, déterminées par le succès d'une entreprise. Il y a trente ans, le succès de Monte Catini avait appelé l'attention sur les mines de cuivre de la Toscane; tous les gîtes similaires furent l'objet de travaux de recherche ou d'exploitation, basés sur cette pensée que ce gîte ne pouvait être un fait isolé.

Il y a dix ans, le succès des mines de plomb de Monte Vecchio et de Monte Poni en Sardaigne détermina une fièvre analogue. Les travaux ont mis en évidence dans cette île une formation métallifère très-remarquable, dont les conditions ont été très-bien précisées dans un rapport de M. Hamal auquel nous empruntons la majeure partie de leur description.

Le terrain qui renferme le filon de Monte Vecchio est composé de schistes de transition alternant avec des grauwackes. A l'Est de ces roches se trouve un plateau granitique assez élevé au-dessus de la mer et qui va en s'abaissant à l'Est jusqu'à se perdre dans la plaine intérieure de l'île dite Campidano, tandis que les schistes et grauwackes qui recouvrent le granite s'abaissent du côté de l'Ouest vers la mer. Au Nord-Ouest de ces schistes on remarque des montagnes trachytiques qui ont soulevé les terrains tertiaires.

Sur plus de douze kilomètres de longueur, on constate que l'allure du filon de Monte-Vecchio est parallèle à la ligne de séparation des schistes et du granite en se maintenant toujours à une distance du granite d'environ un kilomètre. Le filon affleure presque partout à la surface du sol par une énorme crête quartzeuse, ou composée de quartz, de schiste et d'oxyde de fer; il est tantôt simple et tantôt divisé en deux ou trois branches parallèles. Il commence dans le district d'Iglésias. Sa direction est d'abord Est-Ouest; il s'infléchit ensuite vers le Sud, de telle sorte qu'à douze kilomètres de son origine, à Gennamari, il se dirige à peu près du Nord au Sud. A partir de Gennamari, il reprend sa direction Est-Ouest jusqu'à la mer, vers le port de Piscina; mais cette dernière partie n'a pas été explorée.

La puissance de ce filon est très-variable ; elle n'est jamais moindre de plusieurs mètres et s'élève parfois à 50 mètres, quand les différentes branches se réunissent. L'inclinaison est forte et s'écarte toujours du terrain granitique. En plusieurs points, on observe deux ou trois filons parallèles, ou bien des branches secondaires qui se détachent du filon principal.

Sur cette longue zone de 12 kilomètres, on distingue différentes régions d'exploitations, dont les principales sont, en se dirigeant de Flumini Maggiore vers le Nord, Gennamari, Ingurtosu et Monte Vecchio qui occupe six kilomètres du filon.

Dans ces différentes localités on observe des travaux anciens ouverts sur les affleurements, et des haldes immenses qui attestent leur étendue souterraine.

Le filon est généralement composé de quartz blanc plus ou moins compact et dur, d'un peu de sulfate de baryte et de minerai de fer oxydé imprégnant le quartz. C'est dans cette roche que l'on rencontre des veines de minerai qui forment, dans la masse du filon, des filons distincts, ayant le quartz pour salbandes. Les matières qui composent ces veines sont le quartz, le sulfate de baryte, le fer oxydé qui devient rare dans la profondeur, la blende, la pyrite de fer et de cuivre et surtout la galène ; on y rencontre également un peu de carbonate de plomb. En dehors de ces veines, on trouve aussi du minerai imprégnant les salbandes quartzeuses, et quand la puissance du filon est très-considérable, on y trouve différentes veines parallèles, ainsi qu'on l'a observé au Rio.

La puissance du minerai est très-variable. Au Rio, elle a été jusqu'à trois mètres de galène massive sur une certaine étendue ; quelquefois elle est de cinq mètres de minerai rendant 30 °/₀ de galène. En un point où le filon a 25 mètres de largeur, une galerie transversale a recoupé trois veines principales de galène ; ces veines ayant une épaisseur de 0^m30 à 1^m50. Cette grande abondance de galène s'est trouvée surtout sur le point appelé Rio dans la concession de Monte Vecchio, elle a été constatée sur plusieurs centaines de mètres suivant la direction. Les autres parties de la concession n'ont pas été explorées suffisamment, et les travaux que l'on y a faits jusqu'à ce jour n'y ont pas démontré l'existence du minerai d'une manière aussi continue.

A Ingurtosu on a exploité une veine de galène massive, présen-

tant la plus grande régularité; sa puissance était de 0m60; elle s'est continuée suivant une longueur de 250 mètres en direction, mais n'a pas été retrouvée en profondeur.

La mine de Monte-Vecchio produit actuellement environ 3,500 tonnes de galène dont la teneur en plomb varie de 60 à 80 °/o; la teneur en argent varie de 400 grammes à trois kilogrammes par tonne de minerai; en moyenne elle ne dépasse pas 700 grammes.

La société de Gennamari produit annuellement 3,000 tonnes de galène contenant 80 °/o de plomb. La teneur en argent est de 230 grammes pour la tonne de minerai à Ingurtosu et 500 grammes Gennamari.

Dans le district d'Iglésias, sur les bords de la mer, à quelques lieues au Nord du port de Carlo-Forte, se trouvent les mines de Masua et Domestica dont les conditions de gisement sont tout à fait différentes. Elles se trouvent comprises dans le calcaire et la dolomie; les roches ayant une direction nord-sud avec une inclinaison qui varie entre 70 et 90 degrés. Le minerai y est disposé en masses considérables mais irrégulières, suivant les strates du terrain; il se compose principalement de carbonate de plomb plus ou moins riche avec un peu de galène; à Masua, on a découvert aussi un peu de calamine. L'aspect du carbonate de plomb est très-variable; tantôt c'est une poussière grisâtre, tantôt il est cristallin et blanc. Le plus souvent ce carbonate est mélangé de galène et d'une couleur grise éclatante. Les gangues qui l'accompagnent sont de l'argile, du calcaire etparfois du minerai de fer et du quartz plus ou moins friable.

Le carbonate de plomb a une teneur en argent excessivement variable. Dans le même filon, on rencontre parfois, à côté d'une veine de minerai qui contient 100 grammes d'argent à la tonne de plomb, une autre veine qui donnera trois kilogrammes d'argent. Quelquefois aussi on trouve des argiles qui renferment du minerai d'argent sans traces de plomb.

L'allure de ces filons est très-irrégulière. A Masua, ce sont d'immenses poches disposées suivant les strates du calcaire; on les appelle des églises; on en compte cinq très-rapprochées les unes

des autres; la distance entre les deux églises extrêmes étant de 150 mètres environ.

Les mines de Nébida et de Domestica présentent la plus grande analogie avec celle de Masua ; ce sont les mêmes formations et les mêmes minerais; seulement les travaux de recherche n'y sont pas encore assez développés pour savoir si on y rencontrera la même richesse.

Les mines de Monteponi se distinguent autant par leur richesse que par la pureté de leur minerai. Elle sont bien connues par les beaux cristaux de plomb sulfaté que l'on y rencontre.

Ces mines sont ouvertes dans des calcaires dont les couches sont à peu près verticales et suivent une direction nord-sud. Le minerai que l'on y exploite est de la galène très-pure. Sa richesse en argent est de 150 à 200 grammes par tonne. On y trouve aussi du carbonate de plomb, mais en quantité insignifiante, par rapport à la galène. La gangue principale est de l'argile ferrugineuse, quelquefois du minerai de fer.

Ces minerais de Monteponi sont remarquables par leur mode de formation. Ils sont en effet disposés en zones ou colonnes entre deux bancs de calcaire; ces bancs sont verticaux, mais les colonnes de minerai ont une inclinaison plus ou moins forte de manière à couper les strates du calcaire.

Généralement la masse de galène est en contact direct avec la roche encaissante sans interposition de gangues, et alors cette roche encaissante n'est pas altérée et forme en quelque sorte la gangue du minerai. Quelquefois elle est mélangée avec des gangues argileuses et ferrugineuses, et le calcaire au milieu duquel elle se trouve a subi une altération plus ou moins forte.

On compte 27 couches de calcaires dans lesquelles on a découvert des colonnes de minerai. Ces couches ne sont pas très-éloignées les unes des autres; toutes peuvent être recoupées au moyen d'une galerie de 400 mètres de longueur. Souvent on rencontre deux et trois colonnes dans la même couche, et la distance qui les sépare n'est pas très-grande; elle ne dépasse jamais 100 mètres. Généralement, si on perce une galerie d'une colonne à une autre en suivant le joint de la stratification, on n'observe aucune altération dans les roches, et il n'y a pas interposition de matières étrangères

entre les deux bancs de calcaire. Quelquefois ces roches sont décomposées et renferment des matières argileuses et ferrugineuses, au moyen desquelles on se guide dans les travaux préparatoires.

Ces colonnes métallifères ne sont pas éparpillées dans la concession ; elles sont concentrées dans un espace de 400 mètres de longueur sur 150 mètres de largeur environ.

La production de Monteponi est de 5 à 6,000 tonnes de minerai dont la plus grande partie est à l'état d'alquifoux.

Les minerais de plomb ne sont pas seuls en Sardaigne ; à peu de distance de Cagliari, la Société Petin et Gaudet exploite des gîtes importants de fer oxydulé magnétique. Ce sont des masses concordantes, comprises entre des schistes métamorphiques et des quartzites.

Le minerai est un fer oxydulé à gangue de quartz et de grenat. La puissance totale du gîte est de 10 à 20 mètres, le minerai s'isolant est sur une épaisseur de 5 à 6 mètres.

La Sardaigne présente une multitude d'affleurements de gîtes peu connus, dont une partie porte les indices d'anciens travaux. C'est donc un district métallifère important au double point de vue du présent et de l'avenir.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'ESPAGNE.

La péninsule espagnole est sillonnée de *sierras* ou chaînes de montagnes dans lesquelles les terrains de transition et les terrains secondaires soulevés et accidentés par les roches porphyriques et trappéennes contiennent de nombreux gîtes métallifères.

310,000 tonnes de minerais de plomb et d'argent, représentant 150,000 tonnes de plomb et 25 tonnes d'argent ; 250 mille tonnes de minerais cuivreux, représentant 3,600 tonnes de cuivre ; 18,000 tonnes de cinabre, soit 2,000 tonnes de mercure ; 70,000 tonnes de calamine, expriment le caractère métallifère de cette contrée.

Il faut ajouter à ces éléments principaux plus de 200,000 tonnes de minerais de fer et de manganèse dont l'exportation développe rapidement l'exploitation.

La Sierra di Gador, le grand producteur de minerais de plomb, contient des gîtes de toutes les formes. La galène et le plomb carbonaté y abondent en filons de contact, en filons-fentes et en injections métamorphiques ; à tel point que toute la population de la contrée vit de l'exploitation, du transport et du traitement métallurgique de ces minerais, que les plus simples préparations obtiennent au titre de 66 pour cent.

Les galènes de la province d'Almeria, comprises dans des schistes et des calcaires siluriens et dévoniens, sont considérées par les géologues espagnols comme liées à des éruptions serpentineuses postérieures à la craie. Ce qui vient à l'appui de cette hypothèse, c'est qu'au cap de Gates, les filons de galène traversent des trachytes et se lient d'une manière évidente aux phénomènes de la période volcanique. Les émanations métallifères qui ont donné lieu à la formation de ces gîtes embrasseraient donc une longue période ; elles auraient suivi les serpentines et se seraient prolongées pendant et après les éruptions trachytiques.

Près de Carthagène, la Sierra Almagrera renferme des filons plombeux argentifères d'une grande richesse. Les travaux du filon principal, le Jaroso, ont atteint une profondeur de 300 mètres sans que la richesse se soit affaiblie. Les ingénieurs font cependant remarquer que la richesse des minerais est sujette à des variations, en ce sens qu'elle est à peu près la même quelle que soit la puissance. Ainsi elle serait la même pour l'ensemble du filon, que sa puissance soit de 1 mètre ou de 6 mètres ; de telle sorte que les minerais seraient d'autant plus pauvres que le filon est plus puissant, la richesse se trouvant répartie dans une plus grande épaisseur de gangues. Cette assertion assez extraordinaire, ne paraît pas reposer sur des observations suffisantes.

La Sierra Morena et la Sierra de los Santos contiennent beaucoup de filons caractérisés les uns par des galènes, d'autres par l'argent arsenical, d'autres par des pyrites plus ou moins cuivreuses.

Nous avons déjà mentionné les caractères de plusieurs de ces

gîtes, ceux d'Arayanès et de Huelva sont particulièrement cités pour leur production; M. Caillaux, dans ses études sur l'exposition de 1867, les spécifiait dans les termes suivants :

« Le gisement de Huelva, célebre par la puissance de la masse métallifère qui le constitue et qui consiste en pyrite cuivreuse, est exploité depuis les temps les plus reculés. Cette masse, située au milieu des schistes devoniens plutôt que siluriens qui se prolongent jusqu'en Portugal, se rattache à des éruptions porphyriques qui se voient partout dans le pays et affecte la forme éruptive en présentant toujours un aspect scoriacé près de la surface. La teneur moyenne du minerai est de 4 pour cent.

« Le filon cuivro-plombeux d'Arayanès renferme des carbonates, des oxydes et des pyrites de cuivre. Ce filon, d'une grande puissance et d'une grande étendue, offre cette particularité, que les minerais de cuivre peuvent être considérés comme formant, dans un filon plombeux, deux bandes de puissance variable, plaquées l'une au mur, l'autre au toit, qui ne commencent à paraître qu'à 50 mètres au-dessous des affleurements, pour cesser à 150 mètres. »

Les minerais d'argent sont une des caractéristiques de la richesse métallifère de l'Espagne. Ils se retrouvent sur un grand nombre de points. Les mines de Guadalcanal, qui ont eu une grande importance, sont ouvertes dans des filons à gangues spathiques, contenant de l'arsenic natif, de l'argent arsenical et de l'argent rouge arsenié.

Il y a 25 ans, nous avons visité les travaux naissants d'Hiendelencina, dans la Sierra de Guadalajara. Ce sont des filons dans lesquels on trouvait de l'argent rouge, de l'argent gris, des chlorures et bromures d'argent, minerais à l'état de grande dissémination. Aujourd'hui les travaux sont arrivés à 400 mètres de profondeur, trouvant toujours les mêmes minerais y compris les chloro-bromures, toujours très-disséminés, mais avec assez d'abondance pour être rémunérateurs.

Le massif de transition dans lequel se trouvent les gîtes de mercure d'Almaden et d'Almadenejos, se lie avec la Sierra de Los Santos, dont il est séparé par une chaîne granitique.

Nous avons signalé les traits principaux des filons d'Almaden, filons concordants intercalés suivant la stratification des schistes

de transition, siluriens ou plutôt dévoniens, soulevés sur les flancs de masses dioritiques, visibles à quelques kilomètres des mines. Entre ces masses dioritiques et les schistes stratifiés fossilifères se trouvent des grès d'un vert-brun foncé, dans un état métamorphique prononcé ; roches massives et fendillées, que leur couleur fait désigner sous la dénomination de *Fraylesca*. C'est dans cette roche que le puits San Theodoro a été foncé (fig. 37).

Dans les schistes qui s'appuient sur la Fraylesca se trouvent les filons cinabrifères qui en suivent les contacts. Ces filons son au nombre de trois : San-Diego, San-Francisco et San-Nicolas, le filon Santa-Clara n'étant qu'une ramification du San-Diego qui suit l'inflexion de la Fraylesca.

Les filons ont de 6 à 12 mètres de puissance, ils suivent les plans de stratification des schistes qui sont inclinés à 75 degrés et subissent quelques ondulations dans le sens de l'inclinaison aussi bien que dans le sens de la direction, de telle sorte que les coupes faites par les divers étages d'exploitation donnent des dispositions analogues à celle qui est indiquée par la figure 37, page 88, mais différentes par des variations dans leurs puissances et dans leur écartement.

Le minerai qui remplit ces filons est tellement imbibé de cinabre qu'on ne laisse dans la mine qu'une faible proportion de remblai. Les vides faits par l'exploitation sont immenses, et pour soutenir le toit et le mur, il a fallu, de distance en distance, construire des voûtes solides qui maintiennent leur écartement. Au neuvième étage, une de ces voûtes, de 20 mètres de portée, jetée en travers de deux filons réunis, peut être citée comme une des plus magnifiques constructions de l'art des mines.

L'ensemble des filons est rubané ; le cinabre est souvent cristallin, et dans quelques géodes on le trouve cristallisé. Sous ce rapport, ces filons diffèrent sensiblement des autres gîtes cinabrifères qui ont plutôt le caractère d'imbibitions métamorphiques.

Ce qui est très-remarquable dans ces gîtes, c'est que le cinabre est presque le seul minerai. On y trouve bien quelques échantillons d'autres sulfures métalliques, mais ces mélanges sont accidentels. Les gangues sont des débris des roches encaissantes et de la baryte sulfatée dont certaines cristallisations contiennent à l'intérieur des zones d'accroissement teintées de cinabre.

Sur quelques points dans l'intérieur de ces filons et dans les profondeurs, on a trouvé des traces du passage des eaux, et près des surfaces ainsi sillonnées des fragments roulés empruntés au remplissage du filon. M. Cutoli nous a remis à Almaden un fragment de cinabre portant ces caractères de fragment roulé. Les remplissages intérieurs de ces filons doivent représenter des actions lentes et prolongées; il y a existé longtemps des parties vides, il n'est donc pas surprenant d'y trouver les traces des eaux qui pouvaient y tomber, en même temps que des émanations souterraines qui fournissaient à ces gîtes leurs richesses métallifères.

Grâce aux filons d'Almaden l'Espagne fournit du mercure au monde entier ; si les gîtes de la Californie lui ont disputé ce monopole, les irrégularités de leur production prouvent la supériorité des filons méthodiquement exploités, sur les gîtes irréguliers dont les produits, surmenés dans les premiers temps, finissent par s'affaiblir lorsque viennent les difficultés de la profondeur.

La chaîne cantabrique, dans la province de Santander, est assez riche en minerais ; les minerais de cuivre y ont été signalés et même exploités, mais ce sont principalement les gîtes de calamine qui, depuis dix ans, ont attiré l'attention. Ces gîtes se trouvent au pied de la chaîne, sous des formes qui rappellent en partie les conditions de gisement des calamines de la vallée de la Meuse.

Ce sont des cavités remplies de calamines et d'oxydes de fer concrétionnés, souvent stalactiformes, en rapport plus ou moins direct avec des filons dans lesquels se trouvent à la fois les carbonates concrétionnés et les sulfures métalliques. Ces gîtes longent le pied de la chaîne cantabrique et s'approchent de la mer où ils se trouvent enclavés dans des terrains crétacés. Leur production, dans les premiers temps de l'exploitation, en 1860, s'est élevée jusqu'au-delà de 200,000 tonnes ; dès l'année suivante elle tombait à 35 et 40,000 tonnes, chiffre auquel elle se maintient.

Ce qui est très-remarquable dans ces gîtes, c'est leur caractère stalactiforme. On y trouve des concrétions d'arragonite radiée et de calamine blanche, des pisolites et des boules concrétionnées, comme celles des sources thermales incrustantes de Carlsbad. Le mode de formation a dû évidemment être le même ; ce sont des précipitations déterminées dans les eaux qui remplissaient ces

cavités, par les sources minérales qui les traversaient. Ces minerais présentent toutes les structures de précipitation et d'incrustation et ces phénomènes seraient tellement récents, d'après M. Amalio Maestre, que l'on aurait trouvé des ossements d'animaux quaternaires enveloppés par les concrétions calaminaires.

Le gîte de pyrite de San-Domingos, en Portugal, paraît se rattacher à ceux de la province de Huelva. Ce gîte est décrit comme un amas concordant, dans des schistes de transition soulevés par des porphyres quartzifères.

La direction de l'amas de San-Domingo est de 600 mètres, et sa puissance maximum d'environ 60 mètres. Le minerai presque isolé est une pyrite de fer contenant environ 3 °/₀ de cuivre. L'extraction a pris une grande activité par l'établissement d'un chemin de fer joignant la Guadiana; on l'évalue à 200,000 tonnes par année qui sont expédiées en Angleterre.

Ce gîte, de forme lenticulaire, avec une puissance maximum de 60 mètres reconnue à la profondeur de 50, est déjà très-restreint à celle de 150 mètres; mais dans le voisinage et suivant la même direction il existe d'autres amas déjà reconnus et mis en exploitation.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE LA SUÈDE ET DE LA NORWÉGE

Le massif scandinave est composé de schistes et de calcaires de transition accidentés par des granites, des porphyres et des roches amphiboliques. Les gîtes métallifères y sont très-multipliés, et ils auraient plus d'importance encore si les exploitations n'étaient entravées par la difficulté des transports.

Les roches amphiboliques paraissent avoir été, en Scandinavie comme en Toscane, le principal véhicule des émanations métallifères; elles y servent souvent de gangues aux minerais de cuivre et de fer.

La production du cuivre, en Suède, est due, pour la plus grande partie, au célèbre gîte de Fahlun en Dalécarlie; c'est un amas ver-

tical et allongé de fer sulfuré, se ramifiant dans des roches amphiboliques qui l'accompagnent et qui lui servent même de gangue ainsi que le quartz. La zone extérieure de cet amas, découvert sur une longueur de 400 mètres, est mélangée de pyrite cuivreuse, but de l'exploitation établie aujourd'hui à une profondeur de 350 mètres. Le minerai ne contient en moyenne que 2 $\frac{1}{2}$ à 3 pour cent de cuivre.

Il existe en Norwége des gîtes analogues à celui de Fahlun; mais leur position est généralement d'un abord difficile; une compagnie anglaise en a longtemps exploité un près du cap Nord, malgré l'intensité du froid.

Cette partie de l'Europe est une des plus riches en minerai de fer, dont l'état minéralogique est presque toujours l'oxyde magnétique.

M. Élie de Beaumont a fait remarquer que les principaux gîtes de la Suède étaient disposés suivant une zone linéaire qui traverse la contrée, depuis le lac Onega jusqu'à l'angle S. O. de la Norwége. Ces gîtes de fer magnétique sont souvent accompagnés de roches amphiboliques qui, dans beaucoup de cas, leur servent de gangue.

Dans la montagne de Taberg, une masse de fer magnétique est enclavée dans l'amphibole, mélangée avec elle, et ce mélange paraît avoir constitué, comme en Toscane, une véritable roche éruptive.

M. Durocher, dans une étude très-complète des gîtes de la Suède et de la Norwége, résume, dans les termes suivants, les caractères des minerais de fer :

« Sauf quelques cas particuliers, ces gîtes ne forment point de véritables filons, mais des amas de formes diverses, des masses cylindroïques, dont l'axe est fortement incliné ou même vertical et dont la base est ordinairement très-allongée dans le sens de la schistosité des roches encaissantes; souvent même ce sont de grandes plaques lenticulaires, analogues à des couches, mais ondulées, alternativement renflées et amincies. Les amas contenus dans les gneiss sont rarement isolés, ils constituent habituellement des bandes en forme de chapelets; des masses lenticulaires fort nombreuses sont juxtaposées bout à bout suivant un même

plan de fissilité ou suivant des plans très-rapprochés ; elles forment des séries de plusieurs kilomètres de longueur.

« Chaque amas considéré isolément a une valeur qui varie de 0m10 à 60 mètres en Suède, et de 0m10 à 20 mètres en Norwége; leur longueur s'élève à plusieurs centaines de mètres. Il y a, il est vrai, des gîtes qui semblent former des montagnes entières, comme ceux de Taberge en Smolande, de Gellivara en Laponie ; alors leur largeur et leur longueur peuvent être évaluées à plusieurs milliers de mètres ; cependant ce ne sont pas des masses tout à fait continues, elles sont divisées en plusieurs parties par des bancs ou veines de roche stérile.

« Plusieurs mines de fer de la Suède, telles que Danemora, Utö, le Bispberg, etc., ont été approfondies jusqu'à près de 200 mètres et plus, au-dessous de la surface, sans que l'on ait remarqué un appauvrissement ou amincissement du gîte ; cependant, quelques mines ont été abandonnées à cause de la disparition ou de l'appauvrissement du minerai.

« Les amas de fer oxydulé se trouvent dans des roches très-variées et il ne paraît pas que leur richesse soit influencée par la nature de ces roches ; les uns sont encaissés dans du gneiss ordinaire, les autres dans des schistes quartzeux, minacés, amphiboliques, ou bien dans des couches calcaires ; d'autres se trouvent au contact du gneiss et du granite, rarement au milieu même du granite ; il en est qui font partie de masses dioritiques ou amphiboliques enclavées dans le gneiss. Il y a des gîtes très-riches dans chacune de ces roches, mais ceux qui consistent en un mélange de fer oligiste et de fer oxydulé se trouvent moins fréquemment dans le gneiss ordinaire que dans les couches de quartz schisteux ou de schiste micacé qui lui sont subordonnées.

« Au point de vue de leur composition, les amas de fer oxydulé peuvent être envisagés comme des masses douées de caractères un peu variables ; si on les considère sous le rapport des gangues, on peut en faire trois divisions :

« 1° Ceux qui sont formés presque d'un seul élément, le fer oxydulé : ils peuvent être assimilés à des roches simples ;

« 2° Ceux où le minerai est associé à un mélange de divers silicates, et alors il a pu y avoir complication de phénomènes éruptifs et de phénomènes métamorphiques, par suite d'une transmutation

de certains éléments des roches adjacentes, surtout lorsque celles-ci contenaient du calcaire; il s'est produit alors des effets analogues à ceux que présente le contact des roches pyrogènes et stratifiées, il y a eu cristallisation de grenats, épidote, paranthine, etc.;

« 3° Les amas formés d'un mélange de fer oxydulé et de roche amphibolique et ceux en général où l'amphibole est la gangue principale du fer oxydulé. Ces derniers peuvent être rangés dans une série dont une des extrémités consisterait en fer oxydulé presque pur, mélangé de quelques cristaux d'amphibole, et dont l'autre extrémité serait représentée par du diorite faiblement magnétique, ne contenant guère que des traces de fer oxydulé : au milieu de la série se trouveraient les diorites du Taberg qui renferment une proportion moyenne d'oxyde de fer.

« Les mines de métaux sulfurés, sulfarséniés et natifs nous offrent presque tous les types de gîtes que l'on observe dans le reste de l'Europe. En effet, à Kaafiord, Raipas et autres points de la Norwége, on a des filons bien caractérisés, coupant les roches stratifiées et massives; mais ce genre de gîtes qui est le plus fréquent en Allemagne, en France et en Angleterre, se montre peu développé en Scandinavie.

« Quelques mines ont été exploitées sur des veines peu régulières et peu étendues en longueur, telles que les veines aurifères d'Eidsvold en Norwége, les veines de galène argentifère qui traversent les roches palœozoïques de la Suède dans la Dalécarlie et la Scanie; ou bien on a des bandes rectilignes de veines ou de fissures métallifères, comme celles de Kongsberg. Le minerai ne se trouve pas seulement à l'intérieur de ces veines, mais il a aussi pénétré dans la roche adjacente.

« Les gîtes qui ont pour origine des fentes remplies sont les moins fréquents dans le nord de l'Europe; les sulfures ou sulfarséniures métalliques sont en général intimement mélangés à des roches stratifiées ou schisteuses, quelquefois à des roches massives. C'est ce caractère de dissémination propre aux sulfures cuivreux, plombeux, argentifères et cobaltifères, qui donne aux mines de la Scandinavie une physionomie particulière, et qui les distingue des autres gîtes. Il est poussé à l'extrême dans les falhbandes de Kongsberg, qui ont une étendue de plus d'un myriamètre; mais dans les gîtes exploitables, la matière métallique est ordinairement

beaucoup plus concentrée, et même quelquefois la pyrite cuprifère forme des bancs presque massifs. Tantôt les zones de schistes cristallins imprégnés de sulfures offrent l'apparence d'assises régulières, tantôt les particules métalliques ont éprouvé des concentrations locales et affectent des dispositions particulières en rapport avec certains accidents des roches métallifères : par exemple, à Fahlun et à Sala, la pyrite de cuivre et la galène argentifère sont rassemblées autour de veines chloriteuses ou talqueuses. Le principal gîte cobaltifère de Tunaberg, celui de Bescheska, ne forme point une assise régulière, mais une espèce de colonne aplatie disposée obliquement dans le plan de stratification; et en plusieurs endroits de cette région, le calcaire imprégné de cuivre pyriteux et de cobalt gris est mélangé d'une grande quantité de nodules bruns, d'apparence serpentineuse, contenant de petits feuillets de mica et des lamelles d'amphibole, qui semblent avoir produit un effet de concentration sur les minerais. Néanmoins la diffusion des sulfures métalliques dans les roches primitives de la Scandinavie, suivant des zones allongées dans le sens de la schistosité, constitue le caractère essentiel des gîtes de cette espèce, et nous a déterminé à leur donner le nom de gîtes en *fahlbandes*, en généralisant la dénomination employée depuis longtemps à Kongsberg.

« Les dépôts métallifères situés à la séparation des schistes ou calcaires et des roches granitiques ressemblent aux amas de contact des autres contrées. La substance métallique a rempli des crevasses de formes diverses, des fentes irrégulières et ramifiées, elle imprègne aussi la roche encaissante; les gangues principales qui l'accompagnent sont le quartz, la chaux carbonatée et fluatée. Les nombreux gîtes de contact que forment dans la Norwége méridionale le cuivre pyriteux et la galène argentifère sont analogues aux mines de cuivre et de plomb de la Toscane. »

Un fait spécial au terrain métallifère du massif scandinave, et par cela même le plus intéressant, est le développement des gîtes dans les couches dites *Fahlbandes*.

Le terrain schisteux des environs de Kongsberg est en stratifications très-inclinées, 75° à 80°, les couches sont en général multiples et très-cristallines. Plusieurs de ces couches sont pénétrées

de pyrite de fer que l'on distingue principalement parce qu'en se décomposant, les roches deviennent ocreuses, ce sont celles que l'on appelle fahlbandes. Elles ne sont pas continues et forment des zones allongées dans la stratification des alternances schisteuses qui constituent le sol. Ce sont en réalité des portions de couches, imbibées par les émanations métallifères de pyrites de fer, auxquelles se joignent quelquefois des pyrites cuivreuses, des blendes et des galènes en mélanges intimes.

Les fahlbandes aux environs de Kongsberg ont en plan une forme lenticulaire très-allongée ; leur épaisseur varie de 150 à 200 mètres et leur longueur peut être de plusieurs kilomètres. L'ensemble de la zone schisteuse qui les contient présente une superficie de 5 à 6,000 mètres de largeur sur 28 kilomètres de longueur; de telle sorte que les fahlbandes pourraient déjà être considérées comme des gîtes métallifères à très-bas titre, enclavées dans le terrain schisteux de transition, sous forme d'amas lenticulaires et concordants.

Les filons métallifères sont en très-grand nombre, ils traversent le terrain à fahlbandes, à peu près normalement, et comme il est

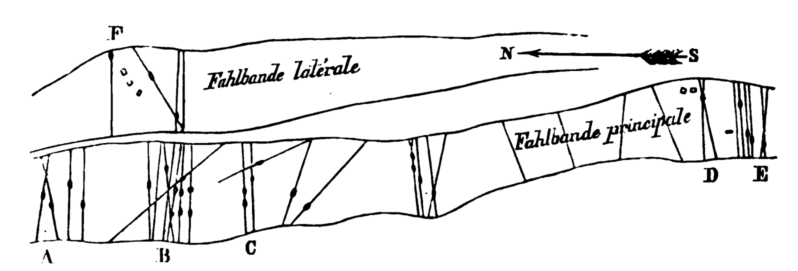


Fig. 53. — Disposition des filons dans les fahlbandes de Kongsberg.

indiqué par la figure 53, qui représente la fahlbande la plus riche dans laquelle sont comprises les filons argentifères les plus productifs, A, B, C, D, E.

Les filons ne sont en effet riches en minerais que dans les parties de leur plan qui traversent les fahlbandes. Ils se prolongent souvent au delà, mais ils cessent d'y être suivis, parce que l'expérience a démontré qu'ils devenaient constamment stériles.

Ces filons ont eux-mêmes des formes particulières ; ils sont très-minces , et leur puissance totale est composée d'une série de fissures parallèles de quelques centimètres d'épaisseur, plutôt que d'une fissure unique entre toit et mur. La figure 54 représente cette disposition pour un des filons dans le groupe dit du Roi (B) ; ce groupe est un des plus productifs. Suivant les observations de M. Durocher, c'est une distension du terrain, suivant une direction déterminée, répartie en plusieurs petites fentes plutôt qu'en une seule. La nature cassante des fahlbandes s'est prêtée à ces brisures qui se perdent dans les schistes qui les bordent.

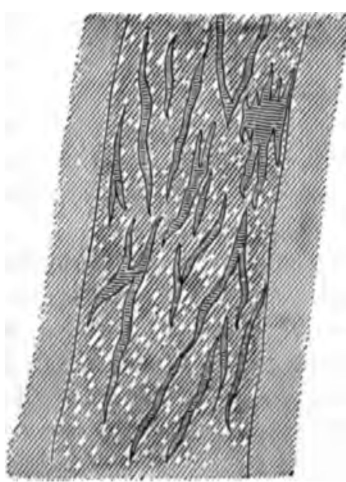


Fig. 54. — Disposition du minerai dans les filons du Roi.

Les fahlbandes sont ainsi devenues le siége privilégié des filons riches, phénomène qui se trouve répété sur plusieurs points du massif scandinave.

Les exploitations suédoises se sont développées depuis dix ans par la mise en valeur des minerais de zinc. La société de la Vieille-Montagne y exploite notamment un gîte de blende à Askersund, sur le lac Vettern. C'est un véritable filon reconnu sur 3 kilomètres de longueur, dont la puissance varie de 1 à 15 mètres et qui envoie 15,000 tonnes de blende aux usines de la Belgique.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'EMPIRE RUSSE.

Les exploitations métallifères de la Russie sont rassemblées dans les monts Ourals, les monts Altaï et la Daourie, qui constituent les trois arrondissements de mines de la Sibérie, désignés sous les dénominations d'Ekatherinbourg, de Kolyvan et de Nertchinsk.

La chaîne de l'Oural, qui forme la limite de l'Europe et de l'Asie, est le plus productif de ces districts ; on y exploite l'or, le platine et des minerais de cuivre et de fer. Ces gîtes sont principalement situés sur le versant d'Asie, suivant une ligne qui commence à Ekatherinbourg et se continue jusqu'à 4 à 500 kilomètres vers le nord.

Les monts Altaï, qui séparent la Sibérie de la Tartarie, renferment les célèbres mines d'or et d'argent aurifère de Kolyvan et de Zmeof ; ces mines paraissent, dans l'Altaï comme dans l'Oural, appartenir aux schistes de transition. La Daourie, contrée montueuse qui sépare le lac Baïkal de l'océan Oriental, renferme surtout d'abondantes mines de galène argentifère, contenues dans des calcaires métamorphiques.

Le lavage des sables aurifères maintient, depuis vingt ans, un produit d'environ 20,000 kilogrammes d'or.

Presque tous les sables aurifères contiennent un peu de platine, mais ce métal est principalement concentré dans les sables de Nijni-Taguilsk, qui fournissent 1,900 kilogrammes sur environ 2,000 qui sont produits par l'ensemble des lavages.

Dans les vallées de l'Oural, la région des sables aurifères s'étend du sud-ouest au nord-est sur une longueur de 50 kilomètres environ, entre les rivières Atlian, Miask et Ouï. Les couches de ce sable sont assez ordinairement recouvertes par des couches stériles de quelques mètres d'épaisseur, formées surtout d'argile et d'alluvions tourbeuses. Quant à leur composition, elle consiste en conglomérats composés de roches anciennes, telles que granites, syénites, gneiss, quartz et schistes, réunis par une argile ocreuse et un sable quartzeux. Les gros fragments sont triés et rejetés, et toute la masse argileuse est ensuite passée sur des cribles formés de barres dont l'écartement est de deux centimètres au plus : ce qui ne passe pas à travers le crible est encore rejeté. L'or se trouve disséminé en particules, en paillettes et filaments, en pépites arrondies et aplaties dans le sable argileux le plus fin, qui sert ainsi de ciment aux roches de transport, et qui, étant concentré par le lavage, reste composé de quartz cristallin, de jaspe, de fer oligiste et de fer magnétique.

Les sables aurifères ne sont pas continus ; ils sont divisés, par les saillies des roches encaissantes, en lambeaux allongés qui ont depuis 50 jusqu'à 500 mètres de longueur, et lorsque, par exception, ils atteignent plusieurs kilomètres de longueur continue, ainsi que cela arrive dans les lits des ruisseaux de Miasta et de Tach-Koutargan, la teneur aurifère n'est pas homogène et les parties riches y forment des îlots isolés. La largeur est ordinairement comprise entre 10 et 60 mètres. Enfin l'épaisseur varie de 0m70 à 2 mètres.

Ces sables aurifères occupent rarement toute la largeur des vallées ; ils n'existent que dans la partie la plus basse et s'amincissent à mesure qu'ils s'en éloignent.

La composition des sables démontre qu'ils doivent leurs principes métallifères à la destruction de gîtes en place. On trouve en effet, dans les hautes vallées, des alluvions qui contiennent les gangues aurifères. Aussi, bien avant que l'or et le platine, concentrés par les opérations de lavage, puissent être très-apparents, on voit se dégager des sables argileux, le fer oxydulé, la pyrite de fer, le fer chromaté, le rutile, l'anatase, la pyrite cuivreuse et quelquefois même le cinabre et la galène. Outre les gangues de quartz cristallin, on trouve également de la dolomie, du spath magnésifère, de l'amphibole, de l'épidote, du grenat, du corindon, annexes constantes de l'or dans les gîtes en place.

Ce sont donc les eaux diluviennes qui, par leur action érosive, ont désagrégé, roulé et broyé ces gangues, en ont isolé l'or, et ont rendu exploitables, sous cette nouvelle forme d'alluvions, des gîtes qui seraient restés sans valeur sous leur forme première.

Un seul des gîtes en place est exploité, c'est le filon de Berezow. L'or y est engagé dans un quartz chargé d'oxydes de fer et de pyrites ; souvent le groupement de ces trois substances est tel, qu'on est conduit à penser que l'or, d'abord engagé dans les pyrites, n'a été isolé que par leur décomposition. On retire de cette mine environ 80 kilogrammes d'or par année.

Les ingénieurs russes ont fait des observations intéressantes sur le gisement des sables aurifères. Ils ont remarqué qu'ils reposaient rarement sur le granite ou sur la syénite, mais plus ordinairement sur les roches schisteuses, dans le voisinage des serpentines

et des roches amphiboliques. Cette loi les a conduits à considérer l'or comme ayant son gisement principal dans le quartz ferrugineux des couches schisteuses métamorphiques, en relation de contact ou de voisinage avec les serpentines et les diorites. Quant à leur distribution géographique, les sables aurifères existent principalement sur les derniers versants, en forme de plateaux qui longent et terminent la chaîne; ils apparaissent donc, sous le double rapport de leur distribution et des matières constituantes, comme résultat d'un phénomène diluvien général qui a affecté l'ensemble de la contrée.

C'est en 1814 que furent découverts les sables aurifères de l'Oural, et ce fut en 1823 que l'exploitation prit quelque activité. Dans l'Altaï, les exploitations datent seulement de 1830.

On a cité des sables d'un titre très-élevé, mais ces proportions ne s'appliquent qu'aux sables déjà criblés et préparés qui ont été transportés aux ateliers de lavage, et non à l'ensemble des roches abattues. La teneur véritable est donnée par le mouvement des ateliers de Miask qui opèrent sur des sables argileux dont toute la masse est à peu près soumise au lavage. En 1864 on avait lavé 432,000 tonnes de sables qui ont produit 720 kilogrammes d'or. C'est une richesse de 0,0000016.

Pour les autres districts, les titres de $\frac{1}{100,000}$ maximum de richesse à $\frac{1}{500,000}$ minimum, ne s'appliquent qu'aux sables lavés, l'exploitation portant, ainsi qu'il a été dit, sur une masse d'alluvion que l'on débarrasse des blocs et des cailloux roulés.

Les monts Ourals renferment les principales mines de cuivre de la Russie, dont les plus productives sont celles de Tourinsk et de Nijni-Taguilsk. L'abondance des carbonates, des oxydes de cuivre et du cuivre natif, dans la plupart des gîtes exploités, donne à leurs produits une pureté remarquable. Les malachites de la Russie jouent un grand rôle comme pierre d'ornement. Les plus beaux spécimens proviennent des mines de Nijni-Taguilsk où on la trouve en masses considérables. Certains blocs extraits pesaient plus de 40 tonneaux.

Comme gisement, on a remarqué que les minerais de cuivre étaient souvent au contact du calcaire et des trapps (mine de Bogos-

lovsk); ils appartiennent probablement à la classe des gîtes irréguliers et de contact.

Les mines d'argent, de plomb et de cuivre de l'Altaï paraissent aussi former des gîtes de contact. Les principales, celles de Kolyvan, sont représentées par les ingénieurs russes, comme des amas stratifiés, placés entre les couches métamorphiques et des porphyres qui les pénètrent. Les minerais des parties supérieures des gîtes sont des terres ocreuses, argentifères et aurifères, mélangées de carbonate de plomb. A mesure qu'on descend en profondeur, ces substances sont remplacées par des sulfures.

Il en est de même des gîtes de cuivre, riches en carbonates, oxydes et cuivre natif vers les affleurements, et exclusivement composés de cuivre pyriteux ou panaché dans leurs parties inférieures. Il paraît même que ces gîtes s'appauvrissant très-souvent, les travaux ne sont poussés qu'à des profondeurs peu considérables, de sorte qu'on les a regardés comme limités dans tous les sens et formant de véritables amas.

Ainsi le gîte de Zyrianofsk est représenté comme enclavé dans les schistes talco-chloriteux : sa longueur en direction est de 160 mètres; sa puissance varie de 3 à 14; on l'a exploré jusqu'à 55 mètres de profondeur. A sa base, ce gîte se divise en deux branches, et la roche qui les sépare est tellement cristalline, qu'elle a l'apparence du porphyre. La masse du gîte est composée de quartz servant de gangue, dans la partie supérieure, à des minerais ocreux, et, dans la partie inférieure, à des minerais sulfurés; en certains points, l'abondance de ces minerais est telle, qu'ils éliminent complétement la gangue quartzeuse. La galène argentifère, les pyrites de cuivre et de fer, le cuivre gris argentifère, la blende, sont les minerais sulfurés; le carbonate de plomb, les carbonates de cuivre, l'hydroxyde de fer, constituent les minerais ocreux. Le niveau moyen de la transformation des minerais est à environ 30 mètres des affleurements. Les mines de Zyrianofsk produisent annuellement 6 à 7,000 tonnes de minerais, qui rendent 8,000 quintaux métriques de plomb, 5,000 quintaux de cuivre et 700 kilogrammes d'argent.

Dans un grand nombre de ces mines de Kolyvan, tous les minerais sont mélangés, et le mélange est quelquefois si intime, que le

triage en est impossible. Cependant les gîtes de cuivre ont, dans le district, une tendance à s'isoler des gîtes d'argent.

Les mines de plomb argentifère de l'arrondissement de Nertchinsk traversent des alternances de calcaires, de schistes et de grauwackes, et, comme en Angleterre, la distribution des minerais est tellement irrégulière, que beaucoup de gîtes sont considérés comme épuisés.

Les mines de l'arrondissement de Nertschinsk fournissent plus de 17,000 kilogrammes d'argent par année, c'est-à-dire la presque totalité de la production russe ; elles fournissent en outre environ 1,200 tonnes de plomb.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'AMÉRIQUE DU NORD

Les mines de fer, de cuivre, de plomb, de mercure, d'argent et d'or de l'Amérique du Nord, prennent un développement dont on a peine à suivre le mouvement rapide. Tandis que dans la vieille Europe, presque tous les gîtes métallifères peuvent être considérés comme explorés et que l'histoire de leur exploitation reste toujours à peu près la même, chaque période de quelques années apporte des faits nouveaux et importants dans la production des États-Unis.

Parmi les gîtes de minerais de fer cristallins, il en est deux qui sont importants par leur puissance et leur composition. Le gîte de Marquette, sur les bords du lac Champlain, est formé d'un mélange de fer oxydulé et de fer oligiste intercalé dans des schistes cristallins. Il expédie déjà 250,000 tonnes de minerai par année. Le gîte de New-Jersey est bien connu des minéralogistes par ses échantillons d'oxyde rouge de zinc, de franklinite et de fer oxydulé ; il résulte de la composition mixte de ce gîte, l'exemple unique de minerais traités pour zinc, qui sont ensuite repris pour la fabrication des fontes dites *spiegel*.

Tous ceux qui s'occupent des métaux se rappellent l'émotion générale que produisit, de 1855 à 1857, l'arrivée en Europe de cargaisons entières de cuivre natif. Ce cuivre d'abord recherché dans

les ruisseaux sous forme de fragments roulés, fut bientôt mis en exploitation dans les gîtes en place. Aujourd'hui la production annuelle est évaluée à 10,000 tonnes.

Ces cuivres natifs sont de qualité supérieure et souvent argentifères. Parmi les échantillons de choix, on voit l'argent natif s'isoler dans le cuivre, en grains cristallins, en dendrites géodiques. La fièvre du cuivre s'empara dès la découverte des gîtes en place, de bon nombre d'exploitants, la France elle-même y prit part.

Ces pionniers de l'industrie minière, sur le littoral désert du lac Supérieur, apprirent à leurs dépens toutes les difficultés des premières exploitations. Une seule compagnie réussit et vit succomber autour d'elle toutes celles qui avaient des gîtes moins riches et moins faciles. La France n'en rapporta que deux bons mémoires géologiques de MM. Rivot et Borie qui avaient pris part aux premières explorations.

Aujourd'hui la tâche est devenue plus facile ; les mines de cuivre ont créé des villes, des routes ; on n'exploite plus seulement quelques filons privilégiés dans lesquels la difficulté principale est de couper et détacher les rubanements de cuivre qui les ont en partie remplis, mais principalement les roches trappéennes de contact, dans lesquelles le cuivre disséminé en grains, en veines ramuleuses, en plaquettes déliées peut être obtenu et concentré par le bocardage et les procédés de préparation mécanique. Grâce à ces procédés la production du cuivre natif s'est régularisée.

La connaissance et l'exploitation des gîtes de galène dans le haut Mississipi avaient précédé celle du cuivre. Une zone de plus de 100 kilomètres traversant une partie du Missouri, de l'Illinois et de l'Arkansas, présente dans les couches siluriennes des gîtes considérables de galène qui paraissent irréguliers et concordants ; ils produisent, dit-on, 20,000 tonnes de plomb ou d'alquifoux par année.

Il manque à la géologie une étude de ces gîtes qui doivent présenter des conditions d'un grand intérêt, à en juger par les belles cristallisations que l'on y trouve. Beaucoup d'échantillons sont formés de cristallisations confuses de galène et de soufre en excès. Cette exception minéralogique conduit à des hypothèses

très-diverses sur le mode de formation de ces gîtes, mais les observations manquent pour les apprécier.

Les gîtes de mercure de New-Almaden, vers le littoral de la mer Pacifique, ont été découverts après les gîtes aurifères de la Californie. Les chercheurs d'or exploraient tous les versants, tous les ravins, ils eurent bientôt signalé les affleurements du cinabre.

Les gîtes de New-Almaden sont dans des terrains argilo-calcaires attribués à la période crétacée ; ils paraissent subordonnés à des masses serpentineuses et avoir des formes tout à fait irrégulières.

D'après les documents fournis en 1867 à l'Exposition universelle, les mines de New-Almaden auraient produit jusqu'en 1863 une moyenne de 5,000 tonnes de minerai, ayant fourni 1,000 à 1,200 tonnes de mercure par année ; en 1865, cette production aurait été de 16,000 tonnes de minerai, ayant fourni 1,900 tonnes de mercure, de telle sorte que la richesse du minerai serait tombée de 22 °/₀ à 12 °/₀.

Le cinabre de New-Almaden est saccharoïde et se mélange de pyrite de fer en quantité assez considérable. Cette condition le distingue des cinabres d'Almaden et contribue à affaiblir la production; mais ce qui la menace surtout, c'est que le gîte n'a pas les allures d'un filon régulier et que les conditions de puissance sont sujettes à des variations qui peuvent compromettre l'avenir de l'exploitation.

Les mines d'or de la Californie, les mines d'argent de la Nevada et du Colorado, sont deux des plus grands événements dans l'histoire de l'industrie minérale. Ces découvertes ont transformé toute la région de l'Amérique située à l'ouest des montagnes Rocheuses ; elles ont créé un mouvement immense ; d'émigration, des villes, des colonies minières; elles auront bientôt créé le chemin de fer du Pacifique qui traversera tout le continen

Les détails que l'on connaît sur les minerais d'or et d'argent de cette contrée n'ajoutent à l'histoire des gîtes métallifères que des exemples plus vastes ; mais les proportions ont précisément un intérêt spécial. L'exposition de 1867 a été l'occasion de la communication de documents, d'échantillons qui ont ajouté à ce que l'on savait déjà sur ces gîtes et qui ont été heureusement résumés par

M. Caillaux. Nous ne pouvons mieux faire que d'emprunter quelques passages de ce compte rendu.

« Les alluvions aurifères de la Californie forment un immense bassin situé sur les versants de la Sierra Nevada, entre cette Sierra et les montagnes de la Côte, depuis le 35e degré de latitude jusqu'au nord de l'État, sur environ 800 kilomètres.

« Ces alluvions se composent d'alluvions anciennes, formées de couches de graviers, de sables, d'argiles, d'une puissance qui atteint quelquefois des centaines de pieds, qui couvrent de vastes étendues ou sont elles-mêmes recouvertes par des coulées basaltiques, et d'alluvions récentes qui proviennent de l'érosion et de la dénudation séculaire des précédentes.

« Ce fut en 1855 qu'on distingua pour la première fois ces diverses alluvions, et c'est de cette époque que date véritablement la connaissance du vaste dépôt aurifère de la Californie; l'observation fit reconnaître que de riches dépôts d'or appartenaient au lit d'anciennes rivières recouvert sur de grandes étendues par des couches de graviers ou d'argiles. On reconnut les sinuosités de ces anciens cours d'eau, les rapides, les parties les plus profondes, les ruisseaux tributaires; enfin, on acquit la certitude qu'ils avaient existé pendant des siècles avant les alluvions actuelles.

« Dans ces anciennes rivières, l'or était distribué d'après les mêmes lois que dans les dépôts de l'ère géologique actuelle, mais en plus grande abondance. Les cavités de la roche sous jacente étaient d'une richesse considérable, et les points d'intersection de ces anciens courants avec les cours d'eau existant aujourd'hui présentaient aussi une plus grande abondance de métal.

« La partie la plus importante de ces anciens lits de rivière, connue sous le nom de *Blue-Lead*, avait une largeur de 100 à 300 pieds et 40 milles de longueur, ou 60 kilomètres. On évalue à plus de 25 millions de dollars l'or qui en a été extrait jusqu'en 1866.

« Ce fut encore vers cette époque que l'on découvrit la continuation des alluvions au-dessous des coulées basaltiques de *Table-Mountain*.

« Les travaux ont dû varier de forme suivant la profondeur des sables, ou des argiles aurifères au-dessous de la surface, soit au-dessous des basaltes; ils consistaient en placers superficiels, en

vastes chantiers à ciel ouvert d'une grande hauteur, soit en placers profonds, et en travaux souterrains.

« Presque tous les placers superficiels de Californie qui, dans le principe, étaient si immensément riches et qui ont d'abord attiré l'attention du mineur, sont maintenant pour la plupart épuisés ; néanmoins, la majeure partie de l'or de cette contrée provient encore du lavage des sables.

« En 1864 et 1865, les travaux se reportaient de plus en plus vers le Nord, et les plus importants d'entre eux se trouvaient concentrés sur le *North-Fork-Juba* où l'épaisseur des sables était d'environ 40 mètres.

« D'après le professeur Sillimann, on avait dépensé plus de trois millions de francs pour amener l'eau sur ces placers qui, pendant plusieurs années, avaient produit annuellement plus de dix millions de francs.

« Le *Country-rock*, ou la roche dans laquelle se trouvent les veines de quartz de la Californie, consiste principalement en schistes argileux métamorphiques ; il en existe aussi dans le greenstone et dans le granit ou à leur contact ; on n'a pas encore pu déterminer à laquelle de ces trois roches correspondait la plus grande richesse, car chacune d'elles a présenté des veines dont la production est importante et les travaux y ont atteint une grande profondeur.

« Le nombre des veines aurifères est très-considérable en Californie, mais le nombre de celles qui sont susceptibles de fournir l'or avec bénéfice paraît assez restreint. Ces veines, généralement intercalées dans la stratification des schistes, y forment des faisceaux d'une très-grande étendue, mais chaque veine est assez limitée dans le sens de la direction, et la partie métallifère occupe toujours une étendue moindre que celle du quartz qui le renferme. Leur puissance, qui atteint quelquefois 25 pieds, n'est moyennement que de 3 pieds, et l'on a observé que les veines les plus étroites avaient une plus grande teneur en or.

« Dans le comté de Mariposa, on remarque l'une des plus puissantes veines quartzeuses de la Californie, dont les affleurements sont visibles sur de grandes distances, et l'on est porté à croire que les puissants affleurements quartzeux qui traversent les contrées de *Tuolumne*, *Calaveras* et *Amador*, et se montrent

sur plus de 60 milles de longueur, appartiennent au même gisement. Un grand nombre de mines se trouvent sur cette *great-vein*, et entre autres la mine d'Eureka, l'une des plus riches de *Grass-Valley*.

« Dans le voisinage de ce filon se trouvent les placers les plus étendus qui, épuisés aujourd'hui pour la plupart, ont été, dans le temps, regardés comme les plus riches de la Californie.

« On a agité beaucoup, en Californie, la question de l'accroissement ou de la diminution de richesse des veines dans la profondeur, et un très-grand nombre de mineurs admettent l'opinion émise par les savants que cette richesse diminue en s'approfondissant.

« Il est certain, d'après toutes les relations qu'on peut lire, qu'un grand nombre de veines ont été abandonnées après avoir fourni près de la surface de grandes quantités d'or. Il est certain aussi que, généralement, les affleurements soumis aux influences extérieures qui avaient réagi sur les surfaces présentaient, dans beaucoup de points, une richesse plus grande qu'à une certaine profondeur au-dessous d'eux; cependant, on cite aussi des faits nombreux qui tendent à démontrer qu'il serait peut-être prématuré de déduire aujourd'hui, de l'observation des faits que l'on connaît, aucune conclusion positive relativement à la distribution de l'or dans les gîtes, et à sa diminution ou à son augmentation dans la profondeur. Ainsi, sans parler de beaucoup d'autres, une des mines d'*Amador-County* montrait la plus grande richesse d'environ 30 dollars à la tonne, entre 1,000 et 1,100 pieds de profondeur sur l'inclinaison de la couche. Quoi qu'il en soit, les ingénieurs dont nous avons les documents sous les yeux, MM. Ross Brown, F. Baron Richtofen, Ashburner, Remond, etc., s'accordent tous pour reconnaître qu'à côté de ces nombreuses veines dont l'importance peut cesser rapidement avec le développement des travaux dont elles sont l'objet, se trouvent des veines et des filons d'une grande puissance où la richesse ne pourra être arrêtée que par la limite des moyens d'emploi d'extraction. Tous enfin reconnaissent que les mines de quartz de ces contrées, quoique progressant lentement, seront pour longtemps encore une des sources les plus considérables pour la production de l'or dans le monde.

« Nous devons rappeler encore que dans les États du Pacifique,

et notamment en Californie, partout où les veines aurifères ont été découvertes, on a signalé des teneurs en or très-élevées dans les pyrites de fer, sans que l'on soit encore parvenu à extraire cet or d'une manière complète. On estime généralement que des procédés actuels d'extraction donnent une perte de 20 à 40 °/₀ d'or. D'une extrémité à l'autre de la Californie, l'attention des mineurs est fixée sur ce point, et beaucoup de compagnies conservent les résidus de l'amalgamation, dans l'espoir qu'on parviendra un jour à les traiter d'une manière parfaite. Un grand nombre d'inventions ont été faites à ce sujet, de nombreux essais ont été tentés, et il paraît que tous ont été à peu près infructueux.

« L'argent de la Californie provient du district de Washoë dans la Sierra-Nevada, où le filon de Comstock fut reconnu en 1859. La découverte de l'argent dans cette contrée donna lieu dès le début à un entraînement fébrile analogue à celui qui éclata au commencement de la découverte de l'or, et c'est de cette époque que datent les explorations lointaines et la reconnaissance d'immenses richesses minérales qui, depuis les montagnes Rocheuses jusqu'à la côte du Pacifique, existent dans toutes les contrées qui environnent la Californie.

« La chaîne qui renferme le gisement de Comstock est aujourd'hui, relativement à son étendue, l'un des points du globe qui fournit le plus d'argent. Les mines dont Virginia-City est le centre, établies sur les gisements argentifères de *Comstock-Ledge*, paraissent merveilleuses par l'extension de leurs travaux, la rapidité avec laquelle se font les opérations d'extraction et de préparation mécanique. Ces gisements consistent en un faisceau de filons parmi lesquels se trouve un filon principal qui porte plus particulièrement le nom de *Comstock-Lode*.

« D'après M. Richtofen « cette mine présente tous les caractères d'une grande « veta-madre » entourée souvent de veines de plus ou moins d'importance. Elle peut être assimilée aux grands gisements de Schemnitz et Felsobanya en Hongrie, à la veta-madre de Guanajuato et à la veta-grande de Zacatecas. » Sa puissance moyenne varie de trente à soixante-dix pieds, avec une tendance uniforme à l'expansion, en s'approfondissant, et de puissantes salbandes argi-

leuses en limitant les parois. Les minerais consistent en sulfures d'argent associés à des sulfures d'antimoine, de plomb, de cuivre, etc. Ils y forment des amas, des colonnes ou des bandes au milieu de la roche qui les renferme, et dans le commencement des exploitations on trouva plusieurs dépôts ou *bonanzas* exceptionnellement riches qui avivèrent les espérances jusqu'à l'exagération, et qui ont donné lieu plus tard à de vives déceptions; l'or et l'argent natif sont souvent associés aux minerais.

« La Sierra-Nevada, qui renferme ce puissant faisceau métallifère, comme la plupart des chaînes de montagne de cette contrée, est formé de granite traversé par de grandes masses serpentineuses, dioritiques, quartzeuses ou syénitiques sur lesquelles s'appuient des schistes micacés ou talqueux, des calcaires cristallins ou des roches sédimentaires argileuses ou siliceuses.

« Quarante-six compagnies occupent une longueur de gîte de 22,258 pieds ou d'environ six kilomètres; la profondeur maximum des travaux, dans le courant de 1866, était de 250 mètres, et l'on estime le développement linéaire total des travaux à 67 milles et demi, ou environ 110 kilomètres. Le cube des travaux de service, tels que puits, galerie, etc., « *the dead Work* » était estimé à 14,167 yards cubes, ou 10,827 mètres cubes.

« On estime généralement que le produit moyen de la tonne de minerai est de 40 dollars.

« On aura une idée de l'importance des travaux de Washoë par le chiffre de production qui, depuis 1863, paraît se régler à la valeur de 16 millions de dollars par année. »

Les filons d'Austin, dans la Nevada, ont été étudiés par M. Buel : il a signalé des diorites et des porphyres comme sortis à proximité des filons et ayant ainsi frayé le chemin aux émanations métallifères. Des trachytes ont également sillonné la zone métallifère de la Nevada, où l'on rencontre encore de nombreuses sources thermales. Il est intéressant de voir cette identité d'observations et de conclusions géologiques, qui dans le Nouveau Monde comme dans l'Ancien, conduisent les géologues à considérer les filons métallifères comme liés à des roches éruptives qui ont ouvert les fractures, soit à des sources thermales et minérales, dernière expression des phénomènes qui les ont remplis.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'AMÉRIQUE DU SUD

L'Amérique du Sud, à laquelle les phénomènes volcaniques ont imprimé une si grande unité de constitution géologique, présente les gîtes métallifères développés sur une échelle encore plus générale. Sur les versants de la chaîne des Andes Cordillères se trouvent, comme dans la Nevada, des roches éruptives de tous les âges, et nulle contrée ne semble être encore en rapports plus nombreux avec les feux souterrains.

La formation des minerais d'argent et d'or domine par son importance toutes les autres formations métallifères, de même que les trachytes et les volcans modernes ont dominé les caractères de constitution physique imprimés à la contrée pendant les périodes précédentes.

Les mines du Mexique ont été l'objet d'une étude toute particulière à l'époque de l'occupation française, et l'ingénieur Guillemin a publié un compte rendu détaillé de la mission qu'il avait reçue à ce sujet. Nous citerons un résumé qu'il en a extrait lui-même pour le compte rendu de l'Exposition publié en 1867.

« L'étendue des terres métallifères au Mexique est plus considérable qu'on ne le pense généralement ; elle mesure les quatre cinquièmes de la surface du pays, et comprend l'espace limité par les côtes de l'océan Pacifique d'une part, et de l'autre par une ligne parallèle menée de Paso-del-Norte à Tehuantepec. Ce parallélogramme ne comporte pas moins de 2,000 kilomètres de longueur sur 600 de largeur, c'est-à-dire que la surface qu'il représente n'est pas moindre de 1,200,000 kilomètres carrés : environ le double de la surface totale de la France.

« La Sierra-Madre du Pacifique occupe le milieu de cette figure et la partage en trois régions distinctes : terres basses, montagnes et plateaux, entre lesquelles les filons métalliques sont répandus irrégulièrement.

« Les mines de la région des plateaux ont reçu, entre toutes, le plus grand développement en raison du climat, des ressources

agricoles et de la facilité des communications. Il n'est pas certain qu'elles soient les plus riches ; elles ont été et sont encore les mieux exploitées. Elles comprennent les mines de Real-del-Monte, Guanajuato, San-Luis-Potosi, Zacatecas, Catorce, Fresnillo, Sombrerete, Chihuahua, etc., etc., pour ne citer que les plus importantes.

« Dans chaque localité il existe un système isolé de filons, quelquefois facile à saisir ; il se compose d'un faisceau de filons directeurs et d'un second faisceau de filons croiseurs ; d'autres fois, c'est au contraire un réseau de veines métalliques d'un arrangement très-compliqué, et il est rare que deux localités voisines ne présentent pas entre elles une très-grande dissemblance de gisement.

« Ces groupes de filons occupent des massifs de grandeur variée, isolés les uns des autres, sur le grand plateau mexicain. On trouve également des filons dans les plaines, autour de collines sans importance, comme au Fresnillo, à Plateras, à Carcas et dans beaucoup d'autres endroits. Il est probable que les alluvions en cachent un grand nombre.

« La Sierra-Madre contient les exploitations renommées de Batopilas, Morelos, Guadalupe y Calvo, San-Dimas, Guarisomey, Panuco, Balanas, etc.

« Les terres basses présentent en Sonora de nombreux gisements plus irréguliers que riches, parmi lesquels il faut citer ce bizarre enchevêtrement de filons placé près de Rio-Yaquis, et que l'on a nommé *Bonanzita*. Le Sinaloa offre les gisements importants d'Alamas, Culiacan, Rosario et le Jalisco, les mines de Compostella, de Saint-Sébastien et celles qui s'étendent au Sud de Mascota jusqu'aux environs de Colima.

« Le Michoacan, le Guerrero et l'État de Oajaca renferment des exploitations qui avaient un grand renom à l'époque de la conquête de Cortez.

« La situation si différente de ces gisements ne permet guère de résumer leurs caractères, et c'est tout au plus si l'on peut indiquer les écarts extrêmes de leurs variations.

« Les mines s'exploitent à toutes les altitudes, depuis un niveau inférieur à celui de l'Océan (mines de Rosario, Sinaloa), jusqu'à

2,800 mètres de hauteur dans la Sierra de Catorce (mine de Guadalupe).

« Les filons sont répartis dans tous les terrains qui couvrent l'immense étendue des terres métallifères ; on les rencontre dans les grès, les grauwackes, les conglomérats, les brèches, les calcaires et les schistes appartenant aux formations secondaires.

« Ils sont souvent enclavés dans des roches métamorphiques d'une nature particulière qui forment au Mexique une classe de porphyres très-curieuse à étudier.

« On en rencontre chaque fois que se montrent des roches cristallines, dans les granites, les syénites, les gneiss, les diorites, etc.

« Les minerais les plus abondants sont les galènes argentifères, *metales de fuego ;* ils sont peu exploités.

« Les minerais argileux, dits *Colorados,* contiennent les chlorures, les bromures et les iodures d'argent. Ils sont traités par l'amalgamation à chaud. Les minerais quartzeux, dits *Negros* parce qu'ils contiennent l'argent à l'état de sulfures, forment la classe la plus exploitée. On les traite par la méthode mexicaine du *Patio,* ou amalgamation à froid. Ils fournissent les 8/10es de l'argent produit dans le pays.

« Les minerais ordinaires contiennent de 2 à 3 millièmes d'argent ; ceux de première classe ont une teneur de 4 à 6 millièmes. Les minerais plus riches sont rares ; leur rencontre dans les exploitations constitue ce que, dans le langage local, on appelle une *Bonanza.* Ces sortes de bonnes fortunes ont, à différentes époques, enrichi les exploitants et porté très-haut la réputation des mines. Leur souvenir, quelquefois rafraîchi, est un mobile bien plus puissant pour le mineur mexicain que le produit courant de son industrie. Aussi doit-on mettre au nombre des causes déterminantes qui ont entretenu jusqu'à nos jours la production de l'argent dans cette contrée, non point la richesse absolue des mines, mais bien plutôt cet appât de la fortune aiguisé des chances du hasard, et la multiplicité des gisements qui est telle que tous n'ont pas été effleurés.

« La production moyenne du Mexique, depuis une quinzaine d'années, n'a pas dépassé 5,000 quintaux d'argent, et a été souvent inférieure. La proportion d'or exploité concurremment

avec l'argent n'atteint pas, comme valeur, le dixième de l'importance de ce second métal.

« Les exploitations profondes se rencontrent principalement dans les grands centres, tels que Catorce, San-Pedro-Potosi, Guanajuato, etc., et c'est là que les exploitations sérieuses se sont seules maintenues. A la Sierra-Madre de Guanajuato, les anciens travaux avaient atteint, au puits de Valenciana, la profondeur de 550 mètres; les travaux les plus profonds, continués depuis la guerre de l'indépendance, n'ont pas dépassé 350 mètres, profondeur sur laquelle les eaux ont déjà fait perdre une centaine de mètres. »

Le développement des minerais argentifères dans l'Amérique du Sud a masqué d'autant plus les autres formations de minerais, que la plupart des gîtes métallifères dont les conditions seraient analogues à celles de l'Europe, sont rendus inexploitables par le prix de la main-d'œuvre, la difficulté des transports et l'absence de combustibles. On ne peut guère exploiter en Amérique que les métaux précieux, faciles à traiter par l'amalgamation, dont la réduction exige peu de combustible, dont le transport soit peu coûteux comparativement à leur valeur, ou dont le prestige ait facilité l'exploitation en appelant les capitaux par l'espoir d'un bénéfice immédiat. On a donc laissé de côté les oxydes d'étain, les pyrites cuivreuses, les galènes, les cuivres gris, dont les gîtes sont aussi bien représentés dans les Cordillères que dans la plupart des districts métallifères de l'Europe, et l'on s'est occupé exclusivement de l'or, du platine et des nombreux minerais d'argent qui constituent des gîtes puissants et multipliés.

Les mines des Andes Cordillères produisent beaucoup moins par la richesse des minerais que par l'abondance et la puissance des gîtes, et les facilités qu'on trouve dans l'extraction et l'abatage. Sous le rapport de la richesse, il n'y a aucune différence réelle entre les minerais du Nouveau Monde et ceux de l'Europe; mais, par leur grand développement, les formations de métaux précieux s'y présentent mieux définies et plus nettement caractérisées.

Ainsi, l'or et les minerais d'argent qui, dans les filons de Transylvanie, semblent représenter une seule formation métallifère, en

constituent deux très-distinctes dans l'Amérique méridionale. Les montagnes du Brésil peuvent être regardées comme constituant un type de la formation aurifère, tandis que les Andes du Mexique et du Chili présentent ceux de la formation argentifère. Ces deux formations sont réunies, quoique encore distinctes, dans les Andes du Pérou.

Les roches ignées pourraient, sans aucun doute, fournir, dans les districts métallifères de l'Amérique méridionale, comme dans ceux de l'Europe, de précieuses indications pour caractériser et classer les gîtes métallifères. M. de Humboldt a signalé, le premier, la liaison qui existe entre les deux séries de phénomènes, et a désigné sous le nom de porphyres métallifères, les porphyres qui accompagnent constamment les gîtes de minerais ; il a de plus indiqué des différences d'âge essentielles dans la série de ces porphyres, distinguant des porphyres non métallifères anciens qui diffèrent des autres par leurs caractères minéralogiques; il a signalé surtout une liaison intime entre les porphyres qui accompagnent ordinairement les mines d'argent et les trachytes qui leur sont superposées.

M. Domeyko, dans un mémoire sur le Chili, a fait ressortir la distinction qui existe entre les roches granitoïdes, liées aux gîtes aurifères, formant les régions les plus basses des côtes occidentales, et les roches porphyroïdes (porphyres feldspathiques ou quartzifères, diorites, eurites, etc.), plus directement en relation avec les minerais de cuivre, tels que les cuivres natifs, carbonatés, sulfurés, chlorurés de Coquimbo, les cuivres gris argentifères, enfin les argents natifs ou amalgamés, l'argent sulfuré, l'argent rouge et chloruré qui terminent la série. Il est évident qu'il reste encore à établir des distinctions d'âge et de caractères entre les divers termes de cette série porphyrique, de même qu'entre les termes successifs de la série métallifère.

Les minerais d'argent de l'Amérique méridionale sont souvent aurifères et indiquent ainsi une liaison réelle entre les minerais des deux espèces ; mais l'or n'y apparaît que comme annexe et en très-faible quantité. Dans tous les filons des Cordillères, où la pyrite de fer est mélangée de blende, galène, cuivre sulfuré, cuivre gris argentifère, sulfure d'argent, argent natif, l'argent est le minéral

caractéristique ; mais les mêmes contrées renferment aussi de véritables gîtes de minerais d'or où ce métal est isolé de l'argent.

La pyrite de fer est le minerai principal de ces gîtes, car les gangues de l'or, de même que celles de l'argent, sont en partie métallifères ; le fer hydraté, également très-fréquent, paraît ne devoir son origine qu'à la décomposition de pyrites préexistantes. La blende, le sulfure d'antimoine, sont aussi exploités en plusieurs points comme minerais aurifères qui ont eux-mêmes le quartz pour gangue ; quant à la forme des gîtes, elle paraît entièrement se rapporter aux filons. Dans les mines de Marmato, par exemple, sur le versant de Rio-Cauca, on extrait l'or de pyrites qui constituent des filons puissants, nombreux, bien réglés et tous dirigés E. O. L'or s'y trouve quelquefois en particules visibles ; mais, le plus souvent, non-seulement on ne le distingue pas, mais encore les essais chimiques en révèlent à peine les traces. M. Boussingault rapporte que l'on trouve accidentellement, en brisant les pyrites, des groupes de cristaux d'or : mais que ce métal y est inégalement disséminé, très-peu abondant, et que le travail n'est productif qu'en raison de l'abondance des pyrites et de leur extraction facile. Sa proportion moyenne dans la pyrite pure est évaluée à $\frac{1}{5000}$.

Le terrain des pyrites aurifères appartient à la formation de porphyres et diorites métallifères des mines de la province d'Antioquia ; c'est de la destruction de gîtes analogues que résultent les alluvions aurifères connues en un grand nombre de points. Ces alluvions, situées vers la base des Cordillères, sont le plus souvent très-difficiles à exploiter par suite du manque d'eau, de telle sorte qu'elles ne figurent pas dans la production, en proportion de leur importance.

Toutes les descriptions des gîtes de minerais d'argent aurifère de l'Amérique méridionale sont remarquables par leur identité, et l'on peut, en faisant abstraction de quelques caractères de détail, décrire collectivement ces gîtes de la manière suivante :

Gisement : en filons puissants et continus qui traversent indistinctement des schistes argileux et des grauwackes (filons de Zacatecas et de Guanaxuato, filons de Potosi) ; des calcaires compactes (filons du district de Pasco, de Catorce) ; des calcaires avec

lydienne (filons de la Veta-Negra, de Sombrerete); des porphyres feldspathiques et amphiboliques (filons du Pachuca et du Xacal, partie supérieure de la Veta-Madre de Guanaxuato); des porphyres liées aux trachytes et aux obsidiennes (filons de la Biscaina, Real-del-Monte). Ces filons sont ordinairement très-inclinés à l'horizon; et, comme les alternances de couches de schistes, de calcaires et des masses porphyriques sont souvent très-accidentées, les filons se trouvent quelquefois parallèles à la stratification du terrain.

Gangues. — Ce sont le quartz, la chaux carbonatée, les roches du toit et du mur, auxquelles on peut ajouter les pyrites, qui jouent, ainsi que l'oxyde de fer, le rôle de gangues plutôt que de minerais. D'après cette énumération, les minerais d'argent aurifère sembleraient subordonnés à d'autres minerais, et c'est en effet ce qui arrive. Ainsi, presque tous les filons ouverts à une profondeur considérable, abondent en fer sulfuré mélangé de galène et de blende; l'argent natif, l'argent sulfuré et l'argent rouge ne sont que subordonnés et n'ont d'importance que par leur valeur intrinsèque. Dans les exploitations peu profondes, la masse du filon est quartzeuse, les pyrites ont disparu et sont remplacés soit par des amas et des veines d'hydroxyde de fer terreux, soit par une espèce de conglomérat formé de quartz argileux et d'hydroxydes de fer. C'est dans ces terres ferrugineuses, connues sous les dénominations de *pacos* et de *colorados*, que se trouvent les minerais argentifères et aurifères les plus avantageux à exploiter. Ces pacos paraissent souvent résulter de la décomposition des pyrites; ce sont de véritables filons pourris dans lesquels la décomposition a détruit la structure cristalline et géodique qui caractérise ordinairement les gîtes de cette nature.

Minerais. — Ne considérant ici comme minerais que les minerais caractéristiques de l'époque géognostique et de l'exploitation, on distingue l'argent natif, l'argent aurifère, l'argent sulfuré, l'argent rouge, le chlorure et le bromure d'argent. Les substances métallifères associées et accidentelles sont : la galène, la blende, quelquefois le sulfure jaune d'arsenic, le cuivre sulfuré et le cuivre gris. Rien n'est plus variable que la proportion du minerai ou richesse du filon; ainsi, l'on a trouvé des masses d'argent natif qui

pesaient jusqu'à 300 kilog., et il y a du minerai qui en contient 40 et 60 pour 100 : mais ces faits sont exceptionnels, et les mines de l'Amérique ne sont productives qu'en raison de leur nombre et de la masse de minerais extraite ; la richesse moyenne de ces minerais n'est que de 0,0018 à 0,0025. L'argent obtenu par l'amalgamation contient presque toujours un peu d'or.

Dans les Cordillères du Chili, où commence la série des gîtes métallifères, la distinction des minerais de cuivre, d'or et d'argent a été très-bien établie par les observations de M. Domeyko.

Les affleurements des divers terrains suivent, dans les Cordillères, la direction générale de l'axe de la chaîne, et la disposition des mines est soumise à la même loi. Ainsi les côtes du Chili sont composées de roches granitoïdes ; cette bande de roches anciennes est celle qui renferme les filons aurifères caractérisés, comme au Brésil, par le quartz et le fer. Cette formation est aussi celle qui contient les mines de cuivre ; elle est dominée par des porphyres amphiboliques et des eurites qui forment, en quelque sorte, le second gradin de la chaîne. Vers le littoral de l'ouest, ces porphyres sont en contact avec une formation calcaire puissante et développée, qui n'est autre que le terrain crétacé. Les couches de ce terrain ont d'abord une inclinaison générale vers l'est ; elles ont été ainsi soulevées par les porphyres et suivent comme eux la direction générale de la chaîne. Ces couches se raccordent ensuite, par des lignes horizontales, à un pendage opposé, déterminé par la réapparition des porphyres et des eurites qui forment une nouvelle bande saillante suivant la direction de la chaîne.

Les deux plans de contact des calcaires crétacés, avec les porphyres qui les enclavent et les relèvent ainsi à l'est et à l'ouest, sont des plans métallifères. Le premier, qui se maintient à 40 ou 50 kilomètres de la mer, en suivant parallèlement la côte, a été reconnu sur plus de 400 kilomètres ; il est successivement indiqué par les mines d'argent d'Arqueros, de Tunas, d'Amarga et toutes celles du pays de Copiapo. Cette ligne de mines présente l'argent à l'état natif, amalgamé, ou à l'état de chlorure ; elle est séparée des mines d'or et des mines de cuivre du terrain granitique par toute l'épaisseur de la formation porphyrique, qui est stérile. Le plan de contact des calcaires avec la bande orientale des porphyres

est marqué par de nombreux gîtes de galène, de cuivre gris argentifère, de sulfures et arséniures multiples argentifères. Enfin, derrière cette seconde ligne de porphyres, reparaissent encore les roches granitiques, avec filons de quartz ferrifères et aurifères, roches qui ne sont plus recouvertes que par la grande formation des trachytes et des volcans modernes, dont les masses colossales, posées sur un plateau dont le niveau dépasse quelquefois 2,000 mètres, s'élèvent à des hauteurs de 3,000, 4,000 mètres et au delà.

Ainsi donc, tous les terrains qui constituent la chaîne peuvent être considérés comme stériles lorsqu'ils sont isolés, et c'est seulement suivant certains plans de contact des roches soulevées et soulevantes, que se montrent les gîtes métallifères; sous ce rapport, les règles observées, dans les districts métallifères de l'Europe, sont pleinement confirmées dans le Nouveau Monde.

Dans les Cordillères du Chili, les minerais d'argent, la galène et le cuivre gris argentifère sont postérieurs à la craie; les filons de quartz aurifère avec oxydes de fer et de manganèse, qui se trouvent dans le terrain schisteux, sont antérieurs.

La nature des gangues concourt également à faire distinguer ces deux classes de gîtes métallifères. Le quartz et l'amphibole sont les gangues ordinaires des minerais de cuivre; le quartz ferrifère est la gangue de l'or; le sulfate de baryte, la chaux carbonatée spathique et la baryte carbonatée sont les gangues habituelles des minerais d'argent.

Les minerais du Chili consistent en argent amalgamé (Arqueros), chlorures d'argent et argent natif (Chanarcillo, Agua, Amarga), bromures d'argent, arséniures, mispickel argentifère et sulfures multiples divers. Ces minerais, disséminés le long des Andes depuis Copiapo jusqu'à 80 kilomètres au delà de San-Yago, ont présenté, d'après M. Domeyko, quelques particularités dans leur groupement. Les plus riches sont au nord, les plus pauvres sont au sud; les plus chlorurés au nord, les plus sulfurés au sud. La loi du minerai monte à mesure qu'on avance vers le nord et la quantité paraît en diminuer; tandis que, la loi diminuant vers le sud, on trouve de l'argent en petites proportions disséminé dans des masses considérables.

leuses en limitant les parois. Les minerais consistent en sulfures d'argent associés à des sulfures d'antimoine, de plomb, de cuivre, etc. Ils y forment des amas, des colonnes ou des bandes au milieu de la roche qui les renferme, et dans le commencement des exploitations on trouva plusieurs dépôts ou *bonanzas* exceptionnellement riches qui avivèrent les espérances jusqu'à l'exagération, et qui ont donné lieu plus tard à de vives déceptions; l'or et l'argent natif sont souvent associés aux minerais.

« La Sierra-Nevada, qui renferme ce puissant faisceau métallifère, comme la plupart des chaînes de montagne de cette contrée, est formé de granite traversé par de grandes masses serpentineuses, dioritiques, quartzeuses ou syénitiques sur lesquelles s'appuient des schistes micacés ou talqueux, des calcaires cristallins ou des roches sédimentaires argileuses ou siliceuses.

« Quarante-six compagnies occupent une longueur de gîte de 22,258 pieds ou d'environ six kilomètres; la profondeur maximum des travaux, dans le courant de 1866, était de 250 mètres, et l'on estime le développement linéaire total des travaux à 67 milles et demi, ou environ 110 kilomètres. Le cube des travaux de service, tels que puits, galerie, etc., « *the dead Work* » était estimé à 14,167 yards cubes, ou 10,827 mètres cubes.

« On estime généralement que le produit moyen de la tonne de minerai est de 40 dollars.

« On aura une idée de l'importance des travaux de Washoë par le chiffre de production qui, depuis 1863, paraît se régler à la valeur de 16 millions de dollars par année. »

Les filons d'Austin, dans la Nevada, ont été étudiés par M. Buel : il a signalé des diorites et des porphyres comme sortis à proximité des filons et ayant ainsi frayé le chemin aux émanations métallifères. Des trachytes ont également sillonné la zone métallifère de la Nevada, où l'on rencontre encore de nombreuses sources thermales. Il est intéressant de voir cette identité d'observations et de conclusions géologiques, qui dans le Nouveau Monde comme dans l'Ancien, conduisent les géologues à considérer les filons métallifères comme liés à des roches éruptives qui ont ouvert les fractures, soit à des sources thermales et minérales, dernière expression des phénomènes qui les ont remplis.

Pérou jusqu'au lac Titicaca, c'est-à-dire sur une longueur de plus de 600 kilomètres. On trouve, dans les Andes du Pérou comme au Chili, des filons quartzeux aurifères, notamment dans la province de Tarma; de nombreux lavages d'or sont établis sur le Tunguragua et ses affluents. Les mines d'argent sont au nombre de plus de 600; les plus importantes sont aujourd'hui celles de Pasco, situées à 4,000 mètres d'altitude près des sources du fleuve des Amazones.

Les gisements des contrées équinoxiales affectent souvent des caractères spéciaux dont le type peut être emprunté au riche bassin du Pasco au Pérou. Ce gisement est analogue à celui qui a été précédemment désigné sous le nom de *pacos*, et M. Rivero, directeur des mines, en a décrit ainsi la composition et l'allure : Au centre du bassin de Pasco, on observe des masses saillantes d'une roche quartzeuse pleine de cavités et d'une couleur ocreuse. La structure de cette roche est fragmentaire. C'est un poudingue de quartz blanc, de pyrite et d'oxyde de fer, et l'on reconnaît encore, dans une partie de ces gangues quartzeuses, la texture du grès qui constitue une formation supérieure aux schistes de la contrée. Ces roches contiennent les pacos qui, dans le district de Santa-Rosa, forment une masse aplatie (probablement un filon de contact), parallèle à la stratification du terrain schisteux encaissant, et dont les minerais fournissent jusqu'à $1\frac{1}{2}$ et 2 marcs d'argent par 100 kilog. Il y a des masses immenses de ces pacos qui, ne présentant pas la structure cristalline des filons, ont souvent été regardées comme des couches contemporaines.

Les pacos américains doivent être assimilés aux filons, sinon comme forme, du moins comme origine; le gisement des plus riches minerais dans la province même de Pasco tend à le prouver. C'est un schiste à grain fin, dur et micacé, souvent traversé par de petits filons de quartz blanc et de pyrite dont les réseaux complexes forment des stocwerks disposés tantôt en filons, tantôt en amas; cette pyrite est argentifère, et les minerais qui s'y rencontrent forment avec elle une seule et même masse. Ces gîtes forment des séries linéaires comme s'ils avaient pénétré une couche fendillée et diversement disloquée. Il est à remarquer, en outre, que les pyrites argentifères se décomposent très-facilement, même dans l'intérieur des mines, et que, dans les affleurements et jus-

qu'à une profondeur assez considérable, elles sont souvent remplacées par l'hydroxyde de fer.

Si l'on compare ce gisement aux pacos proprement dits, on est porté à ne voir entre eux d'autre différence qu'une décomposition beaucoup plus avancée de la gangue pyriteuse et le changement d'une portion des grès encaissants en quartz dur et compacte.

Le porphyre métallifère, tantôt feldspathique, tantôt amphibolique, constitue plusieurs des sommités de la localité et souvent des couches intercalées. Son développement concorde non-seulement avec la présence des pyrites argentifères, mais aussi avec la pénétration des substances métalliques dans une partie des couches calcaires qui recouvrent les grès des pacos. Le calcaire, qui est bleuâtre et compacte, est devenu cristallin et métamorphique en beaucoup de points. M. Rivero cite la montagne des Vinchos, où des couches calcaires sont pénétrées de pyrites et de galène argentifère, qui pourraient donner depuis 600 jusqu'à 1,500 grammes d'argent au quintal métrique, si l'absence de combustible n'en empêchait l'exploitation.

Dans le district de Cuypan, ces mêmes calcaires contiennent des gîtes de cinabre dans une gangue calcaire et argileuse. Dans les mines de Trinidad, Notre-Dame, Descubidora, etc., on exploite un oxyde de fer argentifère avec pyrites de cuivre, dont le mur est une couche calcaire et le toit une couche de grès.

La province de Chota renferme encore d'autres gîtes métallifères importants ; des minerais analogues à ceux de Pasco y traversent souvent les calcaires superposés au terrain de transition.

A partir de la province de Chota, les mines d'argent deviennent assez rares ; celles d'or et de platine ont seules de l'importance dans les Andes de la Colombie. C'est principalement dans la branche des Andes qui borde les rivières d'Atrato et de San-Juan et dans la vallée de Choco, que sont établis les grands lavages d'or et de platine.

Les mines d'or de l'Amérique méridionale ont perdu beaucoup de leur importance depuis le développement des exploitations de la Californie et de l'Australie, mais les mines d'argent en ont une toujours croissante. L'Amérique méridionale est en effet la source principale de l'argent versé dans le commerce ; sa production n'a pas été suffisante dans les premières années pour maintenir la va-

leur relative des deux métaux ; mais l'abondance de l'or a donné une impulsion nouvelle à cette production, et l'étude des conditions géologiques des gîtes argentifères et la recherche de ces gîtes sont aujourd'hui plus actives que jamais.

Les minerais de cuivre jouent un rôle important dans la richesse minérale du Chili.

Les mines de Coquimbo et de Copiapo sont les plus productives. On y cite comme exemple des plus beaux gisements : le filon puissant de Tamaya, dont toute la partie supérieure aux grandes vallées a fourni des cuivres carbonatés, oxydés et chlorurés, tandis que les profondeurs, jusqu'à 150 mètres, ont fourni presque exclusivement du cuivre panaché. Au-dessous de ce niveau, la pyrite cuivreuse devient le minerai dominant et bientôt le seul. Le filon de Panucillo, qui n'avait qu'un mètre de puissance aux affleurements, s'est élargi en profondeur de manière à dépasser 10 mètres, puissance entièrement composée de pyrite cuivreuse avec gangue de grenat. De Caldera à Cobija, les mines produisent, outre les pyrites, des oxydes, carbonates et oxychlorures de cuivre, et à Carrisal, les mines ont déterminé la fondation d'une ville nouvelle de 10,000 habitants.

Pendant longtemps, les exploitants des mines de cuivre du Chili se sont bornés à envoyer leurs minerais en Angleterre ; mais, depuis quelques années, la création de nouvelles voies de communication, et notamment des chemins de fer, leur permet de traiter sur place la plus grande partie des minerais produits. Les exploitations se sont dès-lors développées à tel point que les expéditions s'élèvent actuellement à 70,000 tonnes, moitié en cuivre et moitié en mattes cuivreuses, et que l'on se borne à expédier 5 à 6,000 tonnes de minerais très-riches, n'ayant pas besoin de concentration.

Le Chili est donc le plus grand producteur de cuivre du monde entier, et ses expéditions ont fait baisser ce métal de 20 °/。 sur les marchés de l'Europe. Une pareille baisse a nécessairement réagi sur les exploitations similaires de tous les pays. En Cornwall, beaucoup de mines de cuivre, qui ne *payaient plus,* ont dû être abandonnées et la production s'est réduite de moitié. Les expéditions en minerais ont également baissé pour plusieurs districts de grande production, et notamment pour celui des mines de Cuba.

BRÉSIL. DISTRICT DE MINAS-GERAÈS

Les principales mines du Brésil sont concentrées dans la province de Minas-Geraès, district montagneux, composé de terrains de transition ou du moins présumés tels. Ces terrains sont composés de grandes masses stratifiées dont les soulèvements ne sont pas coordonnés à un axe principal et culminant, mais à des lignes multiples.

Les roches éruptives apparaissent seulement en dykes, soit en monticules isolés; elles semblent avoir pénétré le terrain, en avoir métamorphosé l'ensemble et l'avoir accidenté en détail, plutôt que l'avoir soulevé en masse par une de ces grandes révolutions qui impriment aux montagnes l'unité de constitution physique qu'on remarque dans les Cordillères et dans toutes les grandes chaînes. Cette partie du Brésil a été sillonnée par des soulèvements plus anciens que celui des Andes, et son épaisseur semble avoir été soumise à une action générale et prolongée de la part des roches éruptives qui en ont modifié toutes les roches constituantes. Les points culminants du centre s'élèvent à 1,800 mètres environ et sont encore formés de roches stratifiées; c'est seulement dans les vallées et dans les nombreuses déchirures que présente cette contrée fortement ondulée qu'on voit les contacts des couches et des roches ignées qui les pénètrent. La présence souterraine de ces roches se fait surtout remarquer par le faciès métamorphique des terrains stratifiés et par leur propriété presque universellement métallifère, sans que les gîtes qui s'y trouvent, affectent les formes définies de filons ou de stocwerks.

Les terrains qui constituent la contrée sont, à partir de la base : le gneiss, qui forme la partie inférieure des vallées les plus profondes, et les quartz stratifiés, parmi lesquels le quartz chloriteux (itacolumite) atteint des puissances énormes. Ces roches quartzeuses, très-fréquentes au Brésil, déterminent en quelque sorte, par leur développement inusité, un des traits distinctifs de la composition du pays ; elles paraissent appartenir à des grès méta-

morphiques et forment diverses séries d'alternances avec des micaschistes, des stéachistes blanchâtres ou rougeâtres et des schistes argileux. Dans les régions supérieures, ces roches quartzeuses se pénètrent, en beaucoup de points, de fer oligiste, et constituent les variétés que l'on a appelées itacolumite, itabirite et yacotinga, suivant qu'elles sont grenues ou compactes et plus ou moins chargées de fer. Enfin la série se termine par de véritables grès à éléments fragmentaires, qui forment les points culminants de la province de Minas.

Ce terrain est, ainsi que nous l'avons dit, ordinairement accidenté dans sa stratification, mais sans que les mouvements aient déterminé les grandes failles qui caractérisent les chaînes de montagnes, car dans la plupart des vallées, on voit, de chaque côté, la série des alternances à des niveaux à peu près correspondants. Accidentellement, les roches ignées, représentées par des granites à grains fins et par des porphyres amphiboliques, apparaissent en dykes et sont accompagnées de quartz en filons. Ces porphyres amphiboliques ou plutôt ces diorites sont évidemment les roches soulevantes; elles ont percé à la surface sur une multitude de points de telle sorte qu'une grande partie du terrain stratifié semble superposé à une sorte de bain dioritique.

Le caractère le plus saillant et le plus intéressant de l'ensemble des roches stratifiées, c'est que toutes sont métallifères. Il semble que la masse entière ait été soumise à une action de pénétration générale. Ces principes métallifères deviennent quelquefois tellement dominants, qu'ils ont masqué, en quelque sorte, le caractère premier des roches ; le quartz a surtout une grande aptitude à se pénétrer des éléments métalliques.

Le minerai le plus ordinaire est le fer oligiste, quelquefois la pyrite aurifère; viennent ensuite l'oxyde ou le carbonate de manganèse, l'or natif et ses annexes.

La généralité de dispersion de l'or est telle que, dans certains pays de mines, une roche stratifiée quelconque, broyée et lavée, fournit de l'or. Enfin l'or est concentré en plusieurs points de ces mêmes roches, surtout lorsqu'elles sont chargées de fer oligiste et de manganèse; il y forme des gîtes de contact qui ont pu être exploités directement par travaux souterrains.

A Gongo-Socco, à Villarica, à Moroveilio, à Taquary, on exploite ainsi, pour l'or qu'elle contient, la roche dite *Yacotinga,* jaspe rougeâtre, schisteux, dont les feuillets sont enduits de fer oligiste. On exploite également le grès manganésifère et, sur quelques points, à Taquary, par exemple, des schistes blancs talqueux et des schistes argileux ardoisiers en contact avec l'yacotinga. Ces grès et schistes contiennent, sur certains points, non-seulement de l'or disséminé dans les masses, en particules imperceptibles, mais rassemblé et intercalé en feuillets dans les plans de stratification ou, dans certaines fissures, en rameaux cristallins.

Le carbonate de manganèse est considéré, dans ce district, comme le meilleur guide pour la recherche directe de l'or.

Rien n'est plus variable que la proportion d'or que contiennent ces roches ; souvent une journée seule compense des travaux restés stériles pendant des semaines. La compagnie impériale de Gongo-Socco, qui est la principale, a extrait pendant une certaine période 18,000 tonnes de minerai par année, qui ont produit 700 kilogrammes d'or ; ce qui fait $\frac{1}{26,000}$ pour la teneur moyenne du gîte, c'est-à-dire environ 100 grammes d'or par mètre cube de minerai. Six autres compagnies ont produit, dans des conditions analogues, 950 kilogrammes d'or dans la même année ; ce qui porte à 5 millions la valeur totale produite par le district de Gongo-Socco dans la période la plus active de ses exploitations.

D'autres exploitations sont établies au Brésil sur les sables des rivières ou sur des alluvions anciennes, enrichies par l'action érosive des eaux aux dépens de gîtes analogues à ceux de Gongo-Socco.

Toutes ces alluvions contiennent des quartz ferrifères et des grès métamorphiques. Les mêmes sables renferment à la fois l'or, le palladium, le platine, l'osmium, l'iridium et le diamant, à Rio-Guarahi, Rio-Abaete, Tejuco, Corrego-das-Lagens. M. Pissis a observé que toutes les rivières dont les alluvions sont aurifères et gemmifères, dans le sud de la province de Saint-Paul, ne le sont qu'après avoir quitté une formation d'argile schisteuse et de calcaires supérieurs aux grès, et après avoir traversé les grès qui se rapportent à l'itacolumite.

Dans plusieurs cas, on a trouvé le diamant directement engagé dans un quartz blanc, grenu, qui lui servait de gangue, notamment dans les grès de Serra-Grammangoa. Quant aux autres gemmes, telles que les topazes, si communes au Brésil, l'euclase et le béril, elles se trouvent à la fois roulées et directement engagées dans des bancs d'itacolumite fortement chargés de talc, de chlorite et d'oxyde de manganèse. Ces gemmes sont logées dans des druses talqueuses, en cristaux, confusément mélangés de cristaux de quartz blanc ou améthysé.

C'est surtout entre Villarica et la chaîne de Dios te Livre que se trouvent les gemmes. Un grand développemeut a été donné à l'exploitation du diamant et l'on a été jusqu'à le rechercher par l'abatage direct du quartz qui lui sert de gangue. Les essais faits en ce sens, à Diamantina, n'ont pas réussi, mais les lavages de sables se sont multipliés, et bien des fois, en cherchant des sables diamantifères, on a trouvé des sables aurifères.

Ainsi les terrains quartzeux, à la fois gemmifères et métallifères, présentent tous les caractères du métamorphisme le plus complet. Les porphyres amphiboliques traversent ces terrains sous forme de filons, de dykes amoncelés, souvent rapprochés et formant des séries de collines. Le terrain si profondément modifié est-il bien le terrain de transition? Il y a lieu d'en douter, du moins pour toute la masse, car les parties supérieures (argile schisteuse, calcaire, grès et quartz métamorphiques) sont en stratification très-discordante sur les parties inférieures (quartz, schistes argileux ou talqueux et gneiss).

En plusieurs points de ce district de Minas-Géraès, des granites stannifères, des gîtes de galène et de plomb chromaté, paraissent avoir précédé la grande formation métallifère caractérisée par l'or et les gemmes.

En résumé, la formation aurifère du Brésil, qui constitue le caractère métallifère le plus spécial de la contrée, présente l'or natif comme un minerai subordonné au fer oligiste et au carbonate de manganèse. Accidentellement on le trouve, dans les Cordillères, plus spécialement uni à des pyrites ou à des hydroxydes qui paraissent provenir de leur décomposition. Mais il importe de remarquer qu'au Brésil, comme dans toutes les contrées aurifères, c'est le quartz qui est la gangue la plus ordinaire de l'or. Beau-

coup de filons de quartz drusique, purs et cristallins, sont aurifères et le développement de l'or semble presque toujours en raison directe de celui des roches quartzeuses.

DISTRICTS MÉTALLIFÈRES DE L'AUSTRALIE

L'Australie a présenté, depuis la découverte de l'or en 1850, la même série de faits que la Californie. Ses produits en or ont été encore plus considérables, et l'on calcule que de 1851 à la fin de 1869, les colonies anglaises de Victoria et de la Nouvelle-Galles du Sud ont livré au commerce de 75 à 80 mètres cubes d'or, représentant une valeur de plus de cinq milliards.

Dans la province de Victoria comme en Californie, on exploite à la fois des alluvions aurifères et des filons de quartz contenant l'or natif.

Les filons de quartz sillonnent une vaste contrée composée de schistes semi-cristallins présumés siluriens; sur plusieurs points ils pénètrent dans les terrains secondaires, mais non dans les dépôts tertiaires. Ils contiennent, avec l'or natif, de petites quantités de pyrites, de mispickel, de galène et de blende, et ils ont été poursuivis, sur certains points, jusqu'à 100 et 150 mètres de profondeur en conservant des proportions d'or largement rémunératrices.

Les dépôts stratifiés qui contiennent l'or ne sont pas seulement ceux de la période alluviale; des dépôts arénacés reconnus comme tertiaires en contiennent également, et l'on cite (à Ballaarat) des couches tertiaires exploitées, qui sont recouvertes par des courants de laves basaltiques.

Ainsi les roches qui contiennent les filons de quartz aurifère sont principalement les roches de transition, parce que ces roches forment les chaînes soulevées qui encaissent les bassins tertiaires de l'Australie : ce sont spécialement les roches fissurées. Mais l'époque à laquelle ces fissures ont été formées et remplies de quartz métallifère se trouve indiquée entre les derniers dépôts secondaires et le dépôt des terrains tertiaires moyens. On peut donc considérer comme probable que les actions et les émanations métallifères, qui ont donné naissance aux filons de quartz chargés d'or

natif, ont commencé dès la période tertiaire inférieure(éocène). Ces actions et émanations ont dû se continuer pendant toute la période moyenne (miocène), pendant laquelle des basaltes faisaient éruption à la surface et recouvraient les premières alluvions aurifères formées aux dépens des premiers filons.

Cherchant à définir les conditions de gisement des minerais dans les principaux districts métallifères, nous avons toujours cherché quelles étaient les roches éruptives auxquelles les gîtes pouvaient être rattachés. Ici les basaltes se présentent comme les roches dont les éruptions ont en quelque sorte alterné avec les phénomènes qui ont donné naissance aux filons aurifères. L'or natif doit donc, dans ce cas, être considéré comme subordonné aux basaltes.

Les proportions d'or contenues dans le quartz ont été l'objet d'études toutes particulières. C'est en effet la question capitale pour toute entreprise d'exploitation qui commence ses travaux ; de plus, les exploitants ont toujours la crainte de voir l'or disparaître en profondeur.

La moyenne d'un assez grand nombre d'exploitations a été en effet, pour des profondeurs :

De 60 à 100 mètres.	51 grammes	par tonne de quartz.
De 100 à 130 —	29 —	
De 130 à 160 —	25 —	

Ces résultats peuvent être l'effet du hasard et surtout résulter de ce que, pour foncer un puits, on a toujours choisi les affleurements les plus riches, c'est-à-dire les points des filons qui avaient toute chance de diminuer de richesse en profondeür aussi bien qu'en direction.

Jusqu'où peuvent aller les travaux souterrains? Ils peuvent encore aller loin, car on cite un puits de Ballaarat, dont les travaux sont arrivés à 180 mètres, et qui trouve encore bénéfice à exploiter des quartz qui rendent en moyenne 15 grammes par tonne.

L'ensemble de 3 millions de tonnes de quartz aurifère exploités à ciel ouvert ou par travaux souterrains a fourni une moyenne de 16 grammes d'or par tonne.

Cette proportion est faible, mais le minerai est abondant, et grâce aux exploitations qui ont pu y être établies, la production de l'or en

Australie est plus régulière et semble mieux assurée dans l'avenir que celle de la Californie.

En Australie comme en Californie, l'exploitation des minerais aurifères a eu pour conséquence celle des autres métaux.

Ce sont principalement les minerais de cuivre qui paraissent y avoir de l'importance; l'exportation est de 15,000 tonnes. Ces minerais rappellent, quant à leurs apparences minéralogiques, ceux de Cuba, et les roches trappéennes qu'ils avoisinent paraissent confirmer cette assimilation.

Ces minerais de cuivre appartiennent à une formation métallifère plus ancienne et se trouvent dans des conditions de gisement analogues à celles que nous avons eu occasion de citer dans d'autres contrées.

CHAPITRE V

RELATIONS DES GITES MÉTALLIFÈRES AVEC LES ROCHES ÉRUPTIVES

CLASSIFICATION GÉOLOGIQUE DES MINERAIS

L'origine souterraine des minerais démontrée par les observations détaillées au chapitre III, les relations géognostiques signalées ensuite dans beaucoup de districts, entre les gîtes métallifères et les roches éruptives, conduisent à rechercher les lois de succession qui doivent exister dans toutes les actions géologiques.

Lorsqu'on voit les gîtes métallifères se présenter dans des positions subordonnées à la composition des terrains et à leur position relative ; suivre des plans de contact et, par conséquent, des lignes géologiques tracées à la surface aussi bien qu'en profondeur, on en tire des conclusions dont l'application aux travaux de recherche ou d'exploitation est en quelque sorte immédiate. Mais la géologie doit aller plus loin.

Puisqu'il existe des relations d'origine et de gisement entre les roches éruptives et les gîtes métallifères, ces deux séries de phénomènes ont dû exister pendant les périodes successives et marcher parallèlement. A la succession géognostique des roches éruptives,

doit correspondre une succession géognostique de minerais. En un mot, il doit exister des gîtes métallifères subordonnés aux roches granitiques, porphyriques et volcaniques.

En d'autres termes encore, les temps géologiques ayant pu être divisés, à l'aide des terrains stratifiés, en trois périodes bien distinctes, il doit exister des gîtes de minerais de transition, secondaires et tertiaires.

Les minerais appartenant à ces trois périodes sont-ils mélangés confusément, ou bien existe-t-il dans leur succession des différences qui puissent les distinguer et fournir les éléments d'une classification géognostique?

Telle est la question que nous nous proposons d'étudier dans ce chapitre, en développant plusieurs exemples qui préciseront la liaison entre la série des roches éruptives et des minerais, et en essayant de grouper dans une classification géognostique les gîtes précédemment énumérés.

MINERAIS DE LA PÉRIODE GRANITIQUE

Un des premiers faits constatés par les mineurs de la Saxe et du Cornwall fut l'ancienneté des minerais d'étain. Dans ces deux districts métallifères, les filons d'étain sont croisés par tous les autres et ne les croisent jamais ; ils sont donc antérieurs.

A cette preuve matérielle d'antériorité, se joint une démonstration géognostique : la liaison générale des minerais d'étain aux roches granitiques.

Cette liaison a été signalée précédemment par les détails que nous avons donnés sur quelques gîtes irréguliers stannifères. Le gîte de Zinnwald, par exemple, n'est autre chose qu'une masse de greisen-granitoïde contenant des zones stannifères parallèles à sa surface de refroidissement; cette masse a été postérieurement sillonnée de petites fissures dans lesquelles on a trouvé également l'oxyde d'étain en cristaux disséminés.

Dans le Cornwall on a trouvé sur plusieurs points de véritables granites stannifères, dans lesquels l'oxyde d'étain est associé aux feldspaths à la manière du mica.

Ces gîtes irréguliers et généralement restreints en richesse et

en étendue, ont précédé les émanations stannifères qui ont contribué au remplissage des filons. Le phénomène de ces émanations s'est donc prolongé pendant toute la période granitique ; on en trouve la preuve dans les actions métamorphiques qui se sont produites et qui ont produit par exemple la transformation des cristaux de feldspath de Carclase en oxyde d'étain.

Les gîtes d'étain, qui existent en France, présentent sans doute peu d'intérêt au point de vue de la richesse, mais au point de vue du gisement ils sont aussi instructifs que ceux de la Saxe et du Cornwall ; partout ils ont été signlés comme subordonnés aux granites.

Les gîtes de La Villeder et de Pyriac, dans le massif de la Bretagne, ceux de Vaulry, Montebras, Saint-Léonard dans le plateau central sont tous compris dans les roches granitiques.

Les minerais d'étain les plus abondants, puisqu'ils produisent 10 à 12,000 tonnes d'étain, sont exploités dans les îles de Banca, sur les côtes de Sumatra, ainsi que sur la côte occidentale de Malacca. Ces minerais forment sur les côtes une zone géologique, longue d'environ dix degrés de latitude, dans laquelle les gîtes sont évidemment subordonnés aux granites. L'oxyde d'étain est généralement obtenu par le lavage des alluvions, mais les échantillons envoyés à l'exposition de 1867 ont démontré que ce minerai est constamment là, comme en Europe, associé aux éléments granitiques, de telle sorte que les alluvions stannifères doivent être subordonnées à des gîtes en place subordonnés aux granites.

Les minerais d'étain ne sont pas seuls dans les gîtes qui viennent d'être signalés ; partout où on a pu étudier les gîtes en place, on y a trouvé le même cortége de minerais et de gangues. Le wolfram, la tantalite, le molybdène sulfuré, le mispickel, caractérisent avec l'oxyde d'étain la première période métallifère.

Quant aux gangues, les greisens avec micas à base de lithine, les granites à grands éléments du Limousin, se retrouvent dans beaucoup de localités. Lorsqu'on procède au lavage des alluvions stannifères, on distingue partout, dans les sables concentrés, les tantalites et le fer titané, des spinelles, des zircons, des tourmalines.

Les gîtes métallifères de la période granitique ne se distinguent

pas seulement par leur composition; le mode de dissémination des minerais y présente également des caractères particuliers.

Ainsi les filons stannifères à l'état de filons-fentes sont des exceptions parmi les gîtes de la période granitique, la plupart ont des formes tellement irrégulières qu'on n'a pu les définir. Ce sont des cristaux dispersés parmi les éléments granitiques, formant des sortes de concentrations en veines ou en amas; ce sont des réseaux réticulés de veinules, des imprégnations sporadiques qui le plus souvent ne paraissent obéir à aucune forme géométrique définissable.

Aux granites stannifères se joignent les granites et syénites métallifères du massif scandinave, avec gadolinites, orthites, allanites, fer titané, yttro-tantalite, cérite et cérine, molybdène sulfuré, etc... Plus de cent localités de la Suède, de la Norwége, de la Finlande et du Groënland présentent ces minerais disséminés en veines ou nodules cristallins, soit même dispersés en petits cristaux dans des granites et des syénites ordinairement à grandes parties.

L'orthite et la gadolinite forment avec le feldspath des veines spéciales qui parcourent les granites, mais s'y sont isolées par l'effet du refroidissement et de la cristallisation.

Les granites de Miask et d'autres localités de l'Oural présentent des analogies avec ceux du massif scandinave, par les minerais qui s'y trouvent et la manière dont ils y sont dispersés.

M. Élie de Beaumont, dans son étude sur les émanations volcaniques et métallifères, a fait ressortir les caractères géognostiques des granites métallifères.

« L'origine éruptive des granites ne saurait, dit-il, être mise en doute. Les ramifications qui se détachent sous forme de filons ou de colonnes irrégulières, de la plupart des masses granitiques, les fragments de roches préexistantes qui s'y trouvent empâtés, en fournissent des preuves incontestables. Les granites, au moment où ils ont fait éruption, étaient à une température élevée; on en a la preuve dans les modifications qu'ont fréquemment éprouvées les roches préexistantes au milieu desquelles ils ont été injectés.

« La question de l'origine des granites consiste surtout, aujourd'hui, à déterminer les différences qui doivent avoir existé entre

leur mode d'éruption et le mode d'éruption des roches qui s'en rapprochent le plus par leur composition, différences qui doivent être en rapport avec la cristallinité particulière des granites et avec toutes les circonstances qui les particularisent. »

M. Élie de Beaumont développe ensuite cette idée : que les granites les plus anciens sont en général les plus cristallins à grandes parties, les plus riches en quartz et en même temps les plus métallifères.

Il fait remarquer, en outre; que les minerais ne sont pas disséminés dans toute la masse de ces granites ; ils sont le plus souvent vers les surfaces extérieures et vers les contacts des roches métamorphiques dans lesquels ils semblent en quelque sorte extravasés.

M. Daubrée, dans une étude sur les minerais d'étain, dit : « que tous les amas stannifères, quelle que soit la roche qui les renferme, granite, porphyre, gneiss ou micaschiste, se trouvent toujours près du contact avec une autre roche. Aucun de ces amas ne s'éloigne de plus de 500 mètres de la jonction de deux terrains. En pareil cas, l'une des deux roches en contact est toujours une des roches sursaturées de silice, comprise dans le groupe des roches granitoïdes. Ces masses stannifères ne le sont dans toute leur étendue que lorsque leur diamètre est peu considérable et ne dépasse pas quelques centaines de mètres, ce qui, du reste, est assez fréquent ; car les roches les plus stannifères sont le plus souvent des masses détachées, qui ont pointé en dehors des grandes masses granitiques. »

Ces études sur les granites stannifères s'accordent pour signaler leur nature siliceuse et leur structure à grandes parties, et M. Élie de Beaumont insiste sur ce caractère en citant spécialement le gîte de Geyer en Saxe :

« Le massif stannifère de Geyer a la forme d'un cône tronqué dont le plus grand diamètre n'excède pas 250 mètres. Il est encaissé dans le gneiss et formé d'un granite dont le grain est peu développé. Mais il est entouré d'une enveloppe, désignée par les mineurs sous le nom de stockscheider, épaisse de 0m25 à 3 mètres, composée de granite à grandes parties dont les cristaux sont d'une grosseur extraordinaire. Il semble que la cause particulière de la cristallinité du granite soit venue à la surface de la masse

éruptive, de même que l'électricité se porte à la surface d'un nuage. »

A mesure que les granites sont devenus plus exclusivement feldspathiques et plus rapprochés des porphyres, ils ont cessé de contenir les minerais métalliques. En d'autres termes, les granites modernes ne sont plus métallifères ou du moins ne le sont plus de la même manière, en ce sens qu'ils ne contiennent plus ces masses, subordonnées, surchargées de quartz qui renferment de préférence les minerais d'étain et sur lesquels M. Élie de Beaumont fait encore les observations suivantes :

« Pour se rendre un compte exact de la position doublement concentrée qu'occupent les métaux de la famille de l'étain du tantale, etc., non-seulement dans les masses granitiques en général, mais dans certaines parties de ces masses, il ne faut pas se borner à considérer les points où on les trouve disséminés, près des lignes de contact, visibles à l'extérieur des masses granitiques anciennes et des roches adjacentes. Il faut remarquer que ces lignes ne sont que l'intersection par la surface du globe, de surfaces de contact très-étendues, qui sont cachées dans son intérieur. Pour se les bien représenter, on peut imaginer que toutes les masses granitiques aient été dépouillées des assises qui les recouvrent. Si le granite était ainsi réduit à laisser voir, complétement à nu, sa surface de contact avec les roches qui lui sont superposées, cette surface se montrerait presque partout enrichie des métaux que le granite est sujet à contenir, mais ces métaux se trouveraient surtout concentrés à la surface des saillies qu'il présenterait. Le granite dépouillé de toutes les masses qui le cachent en partie présenterait un certain nombre de protubérances très-saillantes qui s'élèveraient au-dessus des autres accidents de la surface comme des espèces de cheminées ou même de paratonnerres. Ces colonnes ou pointes saillantes seraient les parties les plus riches en métaux, et la cause de leur concentration peut justifier, jusqu'à un certain point, la double comparaison que je viens de faire. En effet, ces colonnes irrégulières, toujours plus ou moins fendillées, ainsi que les roches qui les avoisinent, ont formé des *cheminées* naturelles pour le dégagement des vapeurs qui ont pu sortir des granites. »

Les études faites en Amérique sur les gîtes métallifères appartenant à la période granitique viennent à l'appui des définitions que nous venons d'en donner. Les granites du Missouri renferment une formation stannifère dans des conditions tout à fait analogues à celles du Cornwall.

On voyait à l'exposition de 1867 des sables stannifères provenant de l'Australie et de la Nouvelle-Galles du Sud, concentrés par le lavage et dans lesquels l'étain oxydé en grains roulés était accompagné de fragments de zircons, spinelles, tourmalines, fer titané, de quartz gras, de manière à démontrer l'identité du gisement avec les minerais d'alluvion des autres parties du monde.

En résumé, la période métallifère des granites est nettement caractérisée, mais elle est évidemment de peu d'importance sous le rapport de la richesse en métaux usuels. En dehors de l'étain, il ne s'y trouve guère que des métaux sans application et d'ailleurs en gîtes très-disséminés et circonscrits.

Les minerais de fer sont ceux qui font le mieux ressortir cette pénurie de la période granitique. Il s'en trouve en abondance dans presque tous les terrains, les terrains granitiques exceptés.

Il ne faut pas, en effet, compter parmi les gîtes granitiques les filons-fentes ou les filons de contact qui s'y sont formés postérieurement. Or, en ne tenant pas compte de ces filons, si par exemple on parcourt les vastes surfaces granitiques du plateau central, on n'y trouve de gîtes subordonnés aux granites que quelques minerais, d'oxyde d'étain, de wolfram et de tantalite, dispersés dans les granites à grandes parties du Limousin ; quelques veines tapissées de cristaux d'uranite dans les granites de Marmagne ; quelques dispersions de fer titané. Les forges nombreuses et importantes établies sur ce plateau n'ont pu trouver de minerais de fer que dans les terrains jurassiques appuyés sur le périmètre de ses relèvements.

La pénurie métallifère des granites est confirmée par toute la région des protogines dans les Alpes ; on ne saurait citer un autre exemple de roches éruptives d'une aussi grande étendue, accompagnées d'un aussi grand développement de roches métamorphiques, parmi lesquelles on ne peut citer un seul gîte métallifère de quelque importance, subordonné aux roches granitiques.

Le molybdène sulfuré du Talèfre, et le rutile des aiguillesrouges se trouvent à l'état de rares échantillons. Quant aux géodes cristallines du Saint-Gothard, elles se rattachent évidemment à des phénomènes postérieurs à ceux de la période granitique.

Les granites des Pyrénées et leur manteau métamorphique ne contient également aucun gîte qui puisse être rattaché à cette première période.

Même conclusion pour les granites du Monte Campana qui forment la plus grande partie de l'île d'Elbe et qui présentent un intérêt tout particulier parce qu'ils sont sortis en masses et en veines-filons à travers les terrains crétacés, et sont par conséquent des granites tertiaires. La stérilité métallifère de toute la partie granitique de cette île ressort d'autant plus, que l'autre partie, accidentée par des roches trappéennes, est au contraire d'une grande richesse métallique.

S'il fallait chercher une explication théorique des faits que nous venons de signaler, nous pourrions dire : l'époque granitique est une époque de consolidation de l'écorce terrestre plutôt qu'une époque d'éruption. Les roches éruptives n'étaient pas à des profondeurs assez grandes pour que leur sortie à la surface ait pu mettre les fentes et les fissures en rapport avec les foyers des émanations métallifères. Il n'est donc pas étonnant que cette période ne contienne qu'un nombre restreint de minerais, que ces minerais y soient irrégulièrement dispersés et que les filons qui s'y rattachent soient très-rares.

Les filons, comme ceux du Cornwall, appartiennent en réalité à une époque de liaison géognostique de la période granitique avec la période porphyrique.

Cette liaison de la période la plus pauvre avec la plus riche en gîtes métallifères, est indiquée par les gîtes subordonnés à des roches qu'on hésite à attribuer aux granites ou aux porphyres.

Le gîte d'Altenberg, en Saxe, consiste par exemple en une masse d'eurite inégalement imprégnée d'oxyde d'étain dans la proportion de un demi à un pour cent. On sait que les eurites sont des pâtes feldspathiques qui contiennent du quartz en excès ; ce sont en réalité des granites fondus qui n'ont pas cristallisé. On a remarqué dans la masse d'Altenberg, que les parties les plus riches

en oxyde d'étain étaient en même temps les plus riches en silice.

Le gîte stannifère d'Altenberg, d'apparence porphyrique, peut donc être assimilé au gîte granitique de Zinnwald, avec cette seule différence que ce dernier est entièrement cristallisé et que l'oxyde d'étain semble s'y être liquaté en zones successives dont l'allure est parallèle à la surface bombée et surbaissée, c'est-à-dire à la surface de refroidissement.

MINERAIS DE LA PÉRIODE PORPHYRIQUE

Nous avons déjà cité un grand nombre de faits qui établissent une liaison géognostique entre les gîtes métallifères et les roches porphyriques ou trappéennes. Cette période apparaît donc comme une des plus fécondes en minerais.

La période porphyrique correspond à peu près à la période sédimentaire des terrains secondaires, et dans les dépôts stratifiés de ces terrains nous avons eu occasion de citer des couches métallifères qui n'ont pu recevoir ces principes étrangers aux sédiments que par l'action d'émanations souterraines. On ne pourrait expliquer autrement que par des actions métamorphiques contemporaines des dépôts stratifiés, l'existence du kupferschiefer dans le zechstein, des grès plombifères triasiques de Bleiberg en Eiffel, de Carnoulès dans le Gard, ou de Coro-Coro en Bolivie. Les minerais de fer stratifiés, minerais en roches ou minerais en grains qui abondent dans la série des dépôts liasiques et jurassiques, ont également tous les caractères de dépôts formés par des sources minérales, et interstratifiés sur une multitude de points dans les dépôts de sédiment.

Ces actions des sources minérales et des émanations souterraines métallifères doivent à plus forte raison se trouver dans les fentes et les fissures de clivages que les terrains ont présentées et qui ont dû servir d'évents ou d'espaces propices à leur condensation et à leurs incrustations.

La série des roches porphyriques se compose de deux formations distinctes : la plus ancienne et la plus rapprochée des

granites comprend les porphyres quartzifères et les porphyres feldspathiques ; la plus récente et la plus rapprochée des roches volcaniques comprend les roches trappéennes, c'est-à-dire caractérisées par les feldspaths labradorites, les amphiboles, les pyroxènes et les serpentines.

La première période porphyrique se compose donc des roches les plus riches en silice et contenant pour bases principales la potasse, la soude et la chaux ; la seconde des roches basiques, dans lesquelles la proportion de silice est moindre, la chaux, la magnésie et l'oxyde de fer arrivant à dominer la soude et la potasse.

Au point de vue des gîtes métallifères, nous trouverons la période basique bien plus riche que la période acide.

Les porphyres quartzifères ou feldspathiques se lient aux granites et semblent conserver dans beaucoup de contrées une certaine indigence. Cependant on donne le nom de *porphyres métallifères* à des porphyres ordinairement feldspathiques qui, sans contenir des minerais dans leur pâte, se trouvent tellement liés aux gîtes métallifères par leurs contacts, leur voisinage et leurs lignes d'affleurements, que leur sortie au jour a dû évidemment frayer le passage aux émanations qui ont produit ces gîtes.

Les porphyres de l'Erzgebirge et le porphyre Elvan du Cornwall sont des exemples classiques de ces relations.

Les caractères qui distinguent la période des porphyres de celle des roches trappéennes frappent les yeux de tout observateur. Les roches porphyriques sont de couleurs claires, le feldspath y est distinct jusque dans les arènes des ruisseaux ; sur les escarpements avivés de ces porphyres, on distingue les cristaux de feldspath qui semblent donner aux roches en saillies un caractère de pierre d'ornement. Quelle différence dans les vallées trappéennes ! Les couleurs grises ou d'un vert sombre des grunsteins et des serpentines, les formes arrondies, les blocs et débris incohérents qui couvrent et attristent les versants sont autant de signes caractéristiques qui signalent l'origine éruptive de ces roches. Les aspects que présentent ces sombres vallées, ces pitons noirs et dénudés, sont bien les précurseurs des aspects que les phénomènes volcaniques devaient encore accuser davantage. Ceux qui ont parcouru les vallons trappéens du Nassau et de la Bavière,

les montagnes serpentineuses des Apennins ont été impressionnés par ces aspects caractéristiques qui restent gravés dans le souvenir.

Les roches trappéennes basiques sont les roches métallifères par excellence. Non-seulement elles ont des relations de voisinage, de contacts et de lignes géologiques avec les gîtes de minerais, mais très-souvent elles contiennent ces minerais dans leur propre pâte.

En effet, les minerais mélangés aux éléments trappéens sont, dans quelques cas, en telle proportion, que les gîtes prennent eux-mêmes le caractère de gîtes éruptifs. Si donc on voulait désigner dans la série des temps géologiques, la période la plus active de la génération des minerais, cette période coïnciderait avec celle des éruptions trappéennes.

Les roches trappéennes basiques sont celles qui contiennent particulièrement des métaux oxydulés ou même natifs. Le fer oxydulé magnétique de Suède et celui du cap Calamita, dans l'île d'Elbe, sont subordonnés à des masses d'amphiboles, de pyroxènes ou d'yenites.

On a longtemps considéré comme problématique le gisement du platine natif trouvé dans certaines alluvions de l'Oural, ou à Choco, dans la Nouvelle-Grenade. M. Boussingault a signalé ce gisement à Choco, dans un grunstein dont les dykes traversent la base des Cordillères et dans lequel se trouve le platine et les métaux annexes, l'iridium et l'osmium, en grains disséminés. Dans l'Oural, les mêmes conditions de gisement ont été constatées; le platine et ses annexes ont été trouvés en place, dans des serpentines qui contiennent également du fer chromé. On a pu obtenir dans ces masses serpentineuses le platine natif, non plus en grains roulés, mais en grains et pépites à surfaces cristallines.

Les ingénieurs russes sont arrivés à constater aussi des relations de gisement des alluvions platinifères avec les masses serpentineuses auxquelles elles sont subordonnées.

Ces relations géognostiques sont d'autant plus intéressantes que le platine, l'iridium et l'osmium ne se trouvent pas dans d'autres gisements, et qu'on ne peut se les procurer qu'en allant les chercher dans les masses trappéennes qui les contiennent en grains et particules très-disséminées, ou bien sur les points où les actions

érosives et les lavages naturels ont pu déterminer l'isolement dans les sables, des paillettes et des pépites métalliques et par suite, des conditions possibles d'exploitation.

Nous examinerons successivement les relations qui rattachent les gîtes métallifères aux porphyres et aux roches trappéennes, nous bornant à résumer les caractères essentiels de ces relations, pour les gîtes décrits dans les chapitres précédents, les détaillant de manière à les préciser, par des exemples qui n'ont pas encore été décrits.

Les porphyres dits métallifères du Cornwall et de l'Erzgebirge sont les exemples classiques des relations de voisinage qui existent si fréquemment entre les porphyres quartzifères qui veulent être considérés comme se rapprochant le plus des granites, et les gîtes de minerais.

Les porphyres de l'Erzgebirge dominent les champs de fracture sur les versants de la Saxe et de la Bohême. Ils sont cristallins et feldspathiques; leur pâte renferme quelquefois des pyrites ou du mispickel en particules disséminées. Outre les masses culminantes de l'Erzgebirge, ils constituent des dykes ou filons qui sillonnent les districts de Freiberg et de Joachimstall, et dans cette dernière localité, M. Maier a signalé depuis longtemps les variations de composition et de richesse que présentent les filons métallifères suivant leur situation relativement aux dykes de porphyre qui les accompagnent.

D'après les études faites par les géologues allemands, les éruptions porphyriques et les phénomènes parallèles des émanations métallifères qui ont été les conséquences de ces éruptions, représentent sur les versants de l'Erzgebirge une longue période de réactions de l'intérieur du globe vers son écorce, dont la classification géognostique au point de vue des minerais, peut être ainsi résumée :

1° Les porphyres stannifères d'Altenberg qui marquent le passage de la période granitique à la période porphyrique;

2° Les pyrites, les galènes argentifères, l'argent rouge ou sulfuré, les blendes qui sont les caractéristiques des principaux filons de Freiberg, minerais qui ont été trouvés réunis dans quelques

filons de Marienberg, avec l'oxyde d'étain et le wolfram, se rapportent à une seconde période d'émanations métallifères ;

3° Le groupement des minerais de cobalt, d'urane, de bismuth, de plomb et d'argent caractérise une troisième période, développée principalement dans le district de Schneeberg.

D'après l'âge des porphyres auxquels sont liés ces divers minerais, la période métallifère se serait prolongée depuis la période jurassique jusqu'aux basaltes de l'époque tertiaire.

Les filons du Cornwall n'appartiennent pas à une seule et même période, et les émanations métallifères qui ont contribué à leur remplissage, forment une série géognostique liée à la série des éruptions du porphyre dit Elvan.

Ces porphyres sont quartzifères et se rapprochent des granites sous le rapport de l'âge et de la composition. Ils forment des dykes très-dispersés, qui sont postérieurs aux filons stannifères et antérieurs aux filons cuprifères.

Nous avons précédemment détaillé les conditions de la composition et du gisement de ces filons, la succession géognostique des minerais d'étain, de cuivre et de plomb s'y trouvant établie d'une manière précise. Ces minerais forment une série d'actions métallifères, divisée en trois formations : la première, celle de l'étain, liée à la période granitique ; la seconde, celle du cuivre, alternant avec les dykes d'Elvan ; la troisième, celle du plomb, postérieure aux roches trappéennes.

Dans le Hartz, les filons se trouvent concentrés dans certains *champs de fracture* qui ont avec les grunsteins des relations de forme et de position. Ces relations sont évidentes pour e groupe des environs de Clausthal et surtout pour celui d'Andreasberg, où le champ de facture, sur une partie de son périmètre, se trouve enclavé dans les grunsteins. Les filons d'Andreasberg, sont quelquefois coupés par les grunsteins, et d'autres fois les traversent, de telle sorte qu'il reste démontré que les phénomènes d'éruption des grunsteins et ceux de la production des minerais sont contemporains en ce sens qu'ils ont alterné ensemble ; ce qui explique dans les filons d'Andreasberg la présence de certaines substances accidentelles qui appartiennent aux grunsteins, notamment la datholite et l'apophyllite.

Cette alternance des grunsteins avec les actions métallifères est indiquée par la coupe du filon d'Andreaskreutz. Ce filon a été traversé par les grunsteins qui occupent une partie du plan métallifère, ainsi que l'indique la fig. 55, et qui ont fini par mettre obstacle à l'exploitation.

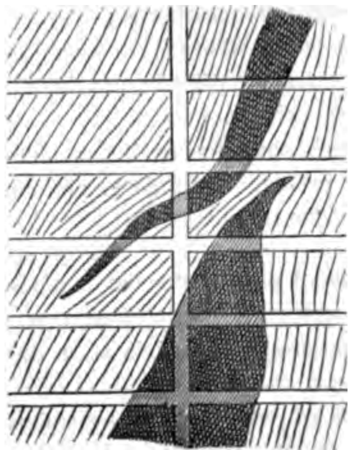


Fig. 55. — Filon d'Andreaskreutz.

Nous avons précédemment détaillé tous les caractères de composition et d'allure de ces filons en terminant par cette conclusion : Placés entre deux époques d'éruption d'une même roche, les filons de Clausthal et d'Andreasberg nous représentent des cassures et des actions de remplissage qui ne sont évidemment que les phénomènes accessoires de la série des éruptions trappéennes; la production des gîtes métallifères est un épisode particulier des actions volcaniques de cette époque.

Si l'on ajoute aux faits relatifs à l'origine de ces filons ceux que nous avons signalés sur le gisement des minerais de fer qui, dans les vallées de Lehrbach et d'Altenau, sont subordonnés aux grunsteins, on est amené à conclure que tous les minerais du Hartz sont intimement liés aux éruptions trappéennes.

Nous avons eu occasion de signaler les relations qui, sur beaucoup de points de l'Oural et de l'Altaï, mettent en évidence la position des gîtes métallifères subordonnée aux porphyres et aux diorites. Les mines de Turjinsk ont été décrites comme ouvertes dans des gîtes de contact entre des porphyres dioritiques et les calcaires qu'ils ont traversés. Les minerais de cuivre sont accompagnés de masses de grenats attribuées à la réaction des calcaires sur les phénomènes d'émanations qui ont amené le silice et le fer en même temps que les éléments cuprifères.

Ces relations de voisinage, contact ou direction, se reproduisent dans toutes les contrées avec les mêmes caractères. Nous les avons indiqués, en France, dans le massif des Vosges si fortement soulevé et traversé par les porphyres.

Les filons de galène, cuivre gris et pyriteux de Plancher-les-Mines, Fancogney, Ternuay, Fresse, etc., sont tellement enchevêtrés dans les porphyres qu'on peut les considérer comme des fissures d'éruption.

Les trapps des contrées de la Sarre, de la Nahe, etc., souvent désignés sous la dénomination d'amygdaloïdes d'Oberstein, porphyres ou trapps de Fischbach, etc., ont également des relations très-directes avec les minerais de cuivre et de mercure. Dans certains cas, ces minerais sont disséminés dans les trapps eux-mêmes; le plus souvent, ils sont rassemblés dans des filons ou dans des veines irrégulières qui traversent le terrain houiller et les roches trappéennes.

Les porphyres de Rothweiler, d'Erzweiler, de Landsberg, etc., contiennent beaucoup de veines irrégulières dans lesquelles on trouve du mercure natif ou argental, du cinabre, du cuivre gris, minerais qui sont accompagnés de gangues argileuses, de quartz et de baryte sulfatée, etc. On rencontre encore, dans ces mêmes roches, des filons qui contiennent de la pyrite cuivreuse et du cuivre sulfuré, notamment près de Reichenbach, Frauenberg, Hammerstein, enfin, dans d'autres localités, ce sont les pyrites de fer, le fer oligiste, le fer hydroxydé et les oxydes de manganèse qui sont ainsi subordonnés aux masses trappéennes.

Tous ces minerais se trouvent dans des roches de contact, à structure porphyroïde ou amygdaloïde, le trapp type véritablement éruptif n'apparaissant qu'en masses isolées et circonscrites sur quelques points de la contrée. Ce trapp est noir, finement saccharoïde; c'est un mélange homogène de feldspath et de pyroxène, dans lequel le feldspath est dominant.

Les *minerais de fer* sont le plus répandus ; si donc on veut saisir et préciser les relations qui doivent exister entre les roches éruptives et les gîtes métallifères, le plus naturel est de les chercher dans les minerais de fer. La multiplicité de ces gîtes de fer et leurs grandes dimensions permettent, en effet, de mieux apprécier les conditions de leur gisement et nous en résumerons les traits les plus caractéristiques.

Le gîte de Framont se présentait il y a trente ans, dans les conditions les plus favorables pour cette étude.

Une exploitation à peu près complète permettait de saisir les formes de ces amas, qui paraissent avoir rempli des cheminées juxtaposées à la masse éruptive; en examinant leur allure, qui s'enfonçait sous une inclinaison rapide dans les profondeurs du sol, et leurs parois tapissées de minéraux cristallins pénétrant les roches du toit et du mur, on se représentait à la fois la formation de ces crevasses et les phénomènes de leur remplissage. L'imagination chercherait en vain, ainsi que nous l'avons dit précédemment, des formes plus expressives et plus en rapport avec l'origine qu'on leur attribue. L'oxyde de fer traverse les roches, les empâte, se concrétionne dans les vides, et ses géodes cristallines reproduisent les belles dispositions et les couleurs brillantes des fers oligistes du Vésuve et des volcans de l'Auvergne. Au contact du minerai tout devient métamorphique : les roches quartzeuses passent à des jaspes ferrugineux, les calcaires à la dolomie ferrifère, et souvent ces divers éléments forment des brèches dans lesquelles le minerai de fer joue le rôle de ciment.

Ce sont les observations de cette nature, répétées sur un grand nombre de gîtes, qui ont fait donner, depuis le commencement des études géologiques, la dénomination de *minerais de montagne* à tous les minerais de fer qui ne sont pas stratifiés en couches et compris dans les phénomènes sédimentaires. On a reconnu que tous ces minerais, composés de fer oxydulé, fer oligiste, fer spathique, hématites fibreuses et concrétionnées, gisaient dans les contrées accidentées, et semblaient se rattacher aux phénomènes d'éruption et de soulèvement.

M. Dufrénoy, après une étude approfondie des minerais de fer de la chaîne des Pyrénées, concluait que la formation des fers spathiques et des hématites était postérieure au terrain de craie, qu'elle paraissait avoir eu lieu à l'époque où la chaîne des Pyrénées s'est élevée, et être la conséquence du soulèvement de cette chaîne. La conclusion de son travail pourrait être ainsi formulée : le soulèvement de la chaîne a produit dans les roches une grande quantité de fractures et de vides qui ont été en grande partie remplis par des minerais de fer ; ces minerais y ont été apportés par des émanations de l'intérieur ou par des sources minérales.

Cette conclusion, appliquée aux hématites brunes et aux fers spathiques des Pyrénées, les assimile à des filons; et, en effet, ce qui établit surtout la liaison entre les gîtes de fer et les filons, ce sont les fers spathiques qui servent très-souvent de gangues à la galène, à la blende, au cuivre gris, à la pyrite cuivreuse, au cobalt arsenical, etc., et qui, fréquemment aussi, constituent des masses isolées formant en quelque sorte un passage géologique entre les dykes éruptifs et les filons proprement dits.

Parmi les gîtes ferrifères qui peuvent être considérés comme étant eux-mêmes seulement des roches trappéennes, rappelons en première ligne : les amphibolites de la Suède dont certains dykes et pitons contiennent le fer oxydulé magnétique intimement associé à l'amphibole ; les labradorites en association granitoïde avec le même minerai magnétique. Rappelons les masses de fer oxydulé et peroxydé du cap Calamita et de Punta-Rossa, dans l'île d'Elbe, sorties au milieu des terrains crétacés dont elles ont soulevé et brisé les strates, et dans lesquelles elles s'injectent en donnant lieu à tous les phénomènes de pénétration et de transformations métamorphiques en pyroxènes, yénites, etc.

Lorsque les gîtes de fer sont immédiatement subordonnés aux roches éruptives, ils sont en grande partie formés d'oxydes anhydres; tels sont ceux de Rio et du Monte-Calamita dans l'île d'Elbe, où l'on peut réunir les faits les plus nombreux et les plus probants à l'appui de l'origine souterraine des oxydes de fer cristallins. Nous trouverons cette origine encore très-nettement exprimée en examinant les circonstances du gisement des fers oligistes et des hématites subordonnés aux roches trappéennes.

Les grunsteins du Hartz déterminent une partie du relief de la contrée, et leurs masses éruptives forment les crêtes de quelques-unes des vallées principales, telles que celles de Lehrbach et d'Altenau.

Au contact des grunsteins se trouvent les roches métamorphiques que l'on appelle *blattersteins* ou *mandelsteins*, espèces de trapps schistoïdes que l'on hésite à attribuer soit aux grunsteins, soit aux roches schisteuses relevées et altérées à leur contact, et qui sont identiques aux schalsteins du Nassau. C'est ordinairement dans cette zone des blattersteins que se trouvent les minerais

de fer, consistant en hématites rouges et fer oligiste pailleteux ou mamelonné, qui constituent des amas lenticulaires ou de véritables couches onduleuses insérées dans les contacts des roches soulevantes et soulevées. Ces gîtes d'hématite rouge forment des chapelets dans plusieurs plans, et suivent les ondulations des grunsteins dans toute l'étendue de leur développement; de telle sorte que la position des usines à fer du Hartz, telles que celles d'Altenau, de Steinherhutte, etc., se trouve en réalité subordonnée à la position et au développement des grunsteins.

Les mêmes minerais de fer constituent au Hartz quelques véritables filons-fentes, à gangues de quartz et de baryte sulfatée, et ces filons, qui contiennent accidentellement d'autres minerais, notamment de la pyrite cuivreuse, établissent un véritable lien géognostique entre les gîtes de fer subordonnés aux grunsteins et les minerais en filons qui forment le principal caractère métallifère de la contrée.

Les nombreux gîtes de minerais de fer exploités aux environs de Dillenburg et de Weilburg, dans le Nassau, consistent en hématites rouges, compactes ou schisteuses, placées au contact des grunsteins, principalement dans les roches appelées *schalsteins*. La profusion de ces couches et de ces amas d'oxydes de fer subordonnés aux grunsteins est telle que, dans un rayon de quelques kilomètres, les fonderies d'Herborn peuvent puiser leurs minerais dans plus de quarante exploitations distinctes.

Les minerais du Nassau présentent un assez grand nombre de variétés qui établissent le passage de l'hématite rouge, compacte, fibreuse ou mamelonnée, aux schistes rouges, simplement imprégnés d'oxyde de fer par des phénomènes évidemment postérieurs à leur formation, et conservant d'ailleurs leur forme et leur structure. Il est même de ces bancs de schistes qui, sans perdre la structure foliacée qui les caractérise, se sont imprégnés de plus de 60 pour 100 de fer oligiste; c'est une véritable pseudomorphose.

Toutes ces accumulations de fer oligiste et d'hématite rouge sont donc bien dues à des émanations souterraines qui ont suivi l'éruption des roches trappéennes. Ces émanations sont postérieures à la sortie des roches trappéennes, puisque, dans certains cas, on en trouve les produits rassemblés dans de véritables

filons qui coupent les trapps ; elles sont aux éruptions de ces roches ce que sont les produits des solfatares aux éruptions actuelles.

Les serpentines, qui font partie des roches trappéennes, présentent aussi des gîtes importants de fer, subordonnés à leur éruption.

Le gîte de Rio, dans l'île d'Elbe, est le plus remarquable de ceux qui sont subordonnés aux serpentines. Il est composé de fer oligiste et intercalé dans des schistes métamorphiques de l'époque crétacée, relevés sur les pentes des montagnes serpentineuses de Sainte-Catherine. Ces minerais, beaucoup plus cristallins que ceux de l'Allemagne et des Vosges, sont insérés dans les plans de stratification, pénètrent ces plans, empâtent des fragments des roches encaissantes, se concrétionnent et forment des géodes dans toutes les fissures. A leur contact, les roches sont altérées, et, lorsque les minerais s'isolent en colonnes puissantes, il semble qu'on les voie s'élancer des profondeurs du sol et repousser par leur force de cristallisation les épontes des fissures préexistantes. Ce gîte de Rio présente tous les caractères d'une génération lente, produite par l'action de vapeurs analogues à celles qui amènent le fer oligiste dans les cratères des volcans. L'éclat des minerais, les géodes tapissées de cristaux, l'isolement parfait des cristaux de pyrite qui forment des groupements spéciaux, et la corrosion de ces pyrites souvent transformées en fer oligiste, tous ces détails se réunissent pour révéler l'action souterraine et prolongée des vapeurs métallifères. On reconnaît que, dans beaucoup de cas, le fer oligiste pailleteux, qui, sous le marteau, tombe en poussière brillante et légère, est postérieur au fer oligiste compacte ou en cristaux binoternaires qui constituent le minerai principal.

N'est-ce pas cette même action souterraine qui a produit les gîtes du Hartz et du Nassau ? De proche en proche, ne doit-on pas attribuer aux mêmes causes le fer oligiste lithoïde, qui imprègne les schalsteins, les blattersteins et les gabbros, puis celui qui détermine la rubéfaction des roches stratifiées placées au contact des roches trappéennes, telles que les thonschiefer rouges qui se trouvent au contact des grunsteins du Hartz et du Nassau, les galestri et les mattoni subordonnés aux serpentines de la Toscane ?

En généralisant cette théorie, nous sommes conduit à des conclusions plus larges. Dans certains terrains sédimentaires, on trouve des fers oligistes terreux, concentrés ou disséminés dans des roches rubéfiées. Les formations du vieux et du nouveau grès rouge, le grès des Vosges, les marnes irisées et généralement les marnes gypseuses et salifères des terrains secondaires ou tertiaires, nous offrent des exemples nombreux et développés de la coloration générale, ou du bariolage des dépôts par le fer oligiste. Parmi ces dépôts, nous voyons des couches de minerais concentrés, compactes ou oolithiques (la Voulte, la Verpillière, Privas, etc.), et, dans ces couches, des coquilles transformées elles-mêmes en minerais compactes ou même cristallins (environs de Maisonneuve).

Quels sont les phénomènes qui ont pu accumuler dans des couches spéciales, ou disséminer dans des formations entières, des quantités aussi considérables de peroxyde de fer anhydre ? Lorsqu'on examine l'immense quantité de fer oligiste répandu dans certaines formations arénacées, rubéfiées, on ne peut faire que deux hypothèses : ou cette masse de peroxyde a été empruntée, comme les autres éléments arénacés, à des roches préexistantes ; ou bien elle a été surajoutée par des phénomènes spéciaux dans les bassins mêmes où s'opérait la sédimentation. La première supposition n'est guère admissible, et nous sommes conduit à expliquer cette rubéfaction générale par l'hypothèse de sources minérales thermales, contemporaines des dépôts et qui ont mêlé leurs produits à ceux de la sédimentation.

A l'appui de cette hypothèse, nous pouvons citer la remarque faite par M. Élie de Beaumont, que la présence de la dolomie, du gypse, de l'anhydrite et du sel gemme, concordait presque toujours avec la rubéfaction des dépôts arénacés ; or, on est à peu près d'accord pour regarder toutes ces substances comme produites par des influences métamorphiques, contemporaines des dépôts dans lesquels elles ont été stratifiées.

Indépendamment de la connexion fréquente qui réunit dans une même origine certains minerais et certaines roches porphyriques ou trappéennes, on peut dire que les relations de ces roches avec les gîtes métallifères ont été mises en évidence par l'étude de tous les principaux pays de mines.

A ces exemples qui démontrent la liaison géologique des minerais de fer avec les roches porphyriques et trappéennes, nous joindrons quelques détails relatifs aux conditions de gisement d'autres gîtes métallifères.

Les gîtes cuprifères de Santiago de Cuba, qui ont fourni jusqu'à 40,000 tonneaux de minerais de cuivre par année, au titre moyen de 16 pour 100, c'est-à-dire plus de 6,000 tonnes de cuivre métallique, paraissent dans les conditions de gisement analogues à ceux de la Toscane. Ce sont des gîtes de contact subordonnés à des masses de grunsteins et de serpentines. Les principales exploitations sont situées à six lieues de Santiago-de-Cuba, autour de la petite ville de Cobre, bâtie pour le service des mines et qui compte déjà cinq à six mille habitants. Le pays est fortement accidenté ; le transport des minerais à la mer était très-coûteux avant l'établissement du chemin de fer qui suit la vallée du Rio-del-Cobre, et dont la construction détermina l'impulsion donnée aux travaux souterrains.

Les pitons et les crêtes sont principalement composés de grunsteins et de serpentines qui ont soulevé et modifié des terrains argilo-schisteux dont l'âge géognostique n'est pas encore déterminé. Les roches de contact offrent des altérations métamorphiques très-prononcées et qui rappellent toutes les apparences des gabbros verts ou bariolés de rouge, et les échantillons qui nous ont été rapportés par M. Arieta permettent d'établir des passages très-ménagés des strates argileux dans leur état normal aux grunsteins et aux serpentines. Les gîtes cuprifères accumulés auprès de Cobre sont enclavés dans des argiles schisteuses vertes, dont la nature stéatiteuse indique le voisinage des roches éruptives et qui sont très-abondamment pénétrées de fer sulfuré cristallin.

Les mines sont ouvertes dans des gîtes irréguliers de contact insérés suivant la stratification des couches soulevées. La manière dont sont disposées les *pertinencias* (concessions) suffit pour indiquer l'accumulation qui caractérise les gîtes irréguliers; les principales mines de Cobre sont concentrées dans un rectangle de 1,200 mètres sur 600 et non disposées en lignes, comme lorsqu'il s'agit de véritables filons.

Parmi ces mines, celle d'Isabellita présente des formes bien définies et assez expressives. C'est une espèce de cheminée dont la section est celle d'une moitié d'ellipse coupée suivant son grand axe et qui s'enfonce suivant l'inclinaison des schistes stéatiteux, relevés par les grunsteins. La base linéaire de la section forme le mur du gîte ; elle a une longueur variable de 3m50 à 7 mètres, la hauteur varie de 2 mètres à 4 mètres. La section totale varie donc de 6 mètres carrés à 18 ; l'exploitation, arrivée à 200 mètres de profondeur, poursuit le gîte à son maximum de section. Suivant l'expression des mineurs, ce gîte s'enfonce comme un clou dans le sol.

Les gangues qui remplissent le gîte, concurremment avec les matières stéatiteuses qui semblent empruntées aux roches encaissantes, sont le quartz cristallin et la dolomie. Ces deux gangues, souvent isolées, forment des magmats cristallins, mélangés à la pyrite cuivreuse qui est le minerai normal ; elles sont quelquefois éliminées par des gangues argileuses, pénétrées par des cristaux de pyrite de fer plutôt que par la pyrite cuivreuse. Enfin, des hydroxydes de fer, pénétrés de cuivre natif et oxydé, jouent parfois un rôle assez important dans le remplissage. Les gîtes Blanca, Arieta, etc., paraissent dans des conditions analogues à celles de l'Isabellita sous le rapport du gisement et lui sont identiques sous le rapport de la composition.

Les travaux poursuivis à Cobre depuis vingt années ont mis en évidence des enseignements précieux qui prouvent combien il y a d'unité dans les lois qui régissent le gisement, l'allure et la composition des gîtes métallifères. Sous le rapport géognostique, nous y retrouvons les gîtes de contact et l'influence des roches trappéennes. Sous le rapport de la composition, nous voyons le minerai sulfuré normal en profondeur, mais transformé vers la surface, de manière à changer complétement l'apparence des mines ; les sulfures de fer ont, en se décomposant, bariolé de teintes ocreuses toutes les gangues et quelquefois les roches encaissantes, et donné naissance au *gossan* caractéristique ; les minerais de cuivre sont transformés à l'état d'oxydules, parmi lesquelles se trouvent les variétés cubiques et capillaires à l'état de cuivre natif. On a cité des concentrations de cuivre natif en masses de plusieurs quintaux.

A cet exemple des gîtes de cuivre liés aux roches trappéennes de l'île de Cuba, nous ajouterons celui des minerais de cuivre de l'Amérique du Nord.

La région qui forme les bords sud-ouest du lac Supérieur a pris un rang important dans la production du cuivre. Cette région est principalement formée de trapps qui ont soulevé et traversé des psammites dont l'âge est encore incertain et que M. Jackson a rapportés au vieux grès rouge. Le littoral qui s'étend à l'ouest du cap de Kewena-Point, sur les bords méridionaux du lac, est la partie la plus étudiée de cette région encore peu habitée, et le cuivre natif que l'on y exploite paraît, sur beaucoup des points, constituer des filons subordonnés aux trapps et même remplir les cavités d'un trapp amygdaloïde disposé en dykes très-épais.

Parmi les caractères particuliers du trapp métallifère, M. Jackson cite l'existence de veines de datholite qui les sillonnent et contiennent du cuivre métallique en écailles ; il cite la prehnite, qui est dans le même cas ; enfin l'analcime, la laumonite et le spath calcaire. Le cuivre de ces trapps est argentifère, et l'argent s'isole en petites veines et petits nodules cristallins dans un cuivre qui en contient une proportion d'un à trois millièmes.

Cette localité a été visitée en 1846 par M. de Verneuil, qui y a trouvé une grande activité d'exploitation, et en a rapporté des documents qui confirmaient la description de M. Jackson et subordonnent les minerais aux roches trappéennes.

Ici, comme à Cuba, la connaissance des gîtes était antérieure à la colonisation européenne, et les sauvages du Canada recueillaient depuis longtemps, parmi les alluvions des ruisseaux, de véritables galets de cuivre natif, enlevés aux affleurements par les eaux courantes. Ces indices directs, longtemps négligés à cause des difficultés que présentait le parcours du pays, ont enfin été appréciés ; une colonie de mineurs s'est disséminée dans de nombreuses concessions, et la petite ville de Kewena-Point, devenue le centre de ce mouvement, a pris un développement rapide.

Les descriptions de MM. Rivot et Borie ont précisé les conditions du gisement de ces minerais. La crête qui domine les bords du lac Supérieur est formée par la sortie de diorites *(greenstone)* qui ont soulevé les terrains stratifiés sous des angles

de 40 à 60 degrés. Les alternances ainsi soulevées sont formées de psammites et de roches argileuses amygdaloïdes profondément altérées, et les filons traversent ces roches jusqu'aux diorites. Ces filons sont riches et développés surtout dans les amygdaloïdes d'apparence trappéennes, de telle sorte que les projections horizontales représentent cette richesse minérale comme distribuée suivant des zones parallèles aux diorites qui forment l'axe de soulèvement.

Nous trouverons dans les minerais de Nassau une disposition similaire qui vient expliquer ce fait.

Les relations géognostiques qui existent entre les gîtes cuprifères et les roches trappéennes du Nassau donnent, en effet, de l'intérêt à l'étude des environs de Dillenburg.

Nous trouvons, en effet, entre les filons cuprifères et les grunsteins, qui forment les traits principaux de l'accidentation et de la composition de ce pays, une liaison très-complexe au premier abord et que l'étude géognostique du sol permet de préciser.

Si l'on examine, sur la carte géologique de l'Allemagne, les environs de Dillenburg, on voit que ce pays, situé vers la lisière septentrionale du Nassau, constitue, dans le massif de transition, un îlot remarquable par une composition spéciale. Des zones étroites, formées par des alternances schisteuses et calcaires supposées dévoniennes, courent du sud-ouest au nord-est, en suivant le mouvement général de direction de la grande zone des calcaires anthraxifères qui traversent, plus au nord, la Prusse rhénane et la Belgique. Ces schistes et calcaires dévoniens sont superposés aux grauwackes et schistes siluriens du massif, et accidentés par des roches trappéennes très-développées, formant elles-mêmes des zones, qui suivent la même direction. Un second groupe des mêmes roches, affectant la même disposition, se trouve un peu plus au sud, de Limburg à Weilburg et Braunfels.

Les roches trappéennes du Dillenburg couvrent une surface considérable (huit à dix lieues carrées), sans être très-apparentes, parce que leurs formes émoussées ne présentent guère que des pentes douces, couvertes par une végétation active. On peut

cependant les étudier dans des excavations et des carrières assez nombreuses, où l'on reconnaît de suite la structure massive des grunsteins, structure souvent globuleuse et présentant des surfaces inégales et mamelonnées.

Ces roches ont généralement une texture homogène et compacte ; leur couleur est foncée, souvent ocreuse à la surface, mais verdâtre dans les cassures qui atteignent la roche saine. Leurs caractères sont d'ailleurs sujets à des variations suffisamment désignées par la multitude des noms qu'on leur applique, grunsteins, trapps, variolites, amphibolites, diorites, etc. On ne peut mieux les comparer qu'à toutes les roches qui portent les mêmes noms dans le groupe des montagnes du Hartz.

En étudiant avec attention quelques-unes des masses principales, on reconnaît que la partie centrale de ces masses est généralement très-constante dans ses caractères ; c'est toujours une roche verte, homogène et compacte, véritable type du grunstein. Les variations qui ont amené tant de dénominations différentes ont lieu principalement vers les zones extérieures, à l'approche du contact des roches soulevées condition que nous avons signalée pour les masses serpentineuses de la Toscane, et qui existe également pour les grunsteins du Hartz. Examinons les véritables roches du contact du Dillenburg et nous les verrons affecter des caractères encore plus complexes, mais qui rappellent toujours quelques-uns de ceux du type trappéen.

Ces roches de contact sont désignées dans le Nassau sous la dénomination générale de *schalsteins.*

Les schalsteins ont depuis longtemps attiré l'attention de tous ceux qui ont étudié les roches du Nassau ; Becher, Walchner, Stifft, Leonardt, de Dechen, etc., ont signalé les caractères de ces roches, et distingué : 1° les schalsteins proprement dits ou trapps schisteux ; 2° les kalk-trapps, qui sont des roches compactes, homogènes, vertes ou rouges, caractérisées par une plus grande abondance du principe calcaire ; 3° les mandelsteins, qui ne sont autre chose que nos amygdaloïdes, roches de contact, qui lient les précédentes aux grunsteins.

M. Oppermann a publié, en 1836, une thèse sur le schalstein et le kalk-trapp, où il résume toutes les opinions publiées précédemment. Ces roches sont ordinairement situées au contact des

grunsteins avec les grauwackes, les schistes, ou les calcaires; de telle sorte qu'on peut, suivant les localités, les étudier dans les milieux très-différents dont elles reflètent les caractères. C'est ainsi, dit M. Oppermann, que Becher a étudié principalement les schalsteins dans la formation calcaire, Walchner dans la formation des schistes argileux, et Stifft dans les grunsteins; de telle sorte que chacun d'eux a caractérisé ces roches par la prédominance du calcaire, de l'argile ou des principes talqueux.

Tous ces observateurs paraissent être d'accord pour regarder les schalsteins, les kalk-trapps et les mandelsteins, comme des roches subordonnées aux grunsteins, formant passage entre les roches cristallines et les roches stratifiées, argileuses ou calcaires. Cependant quelques-uns ont séparé les schalsteins argileux, qu'ils considéraient comme une roche stratifiée, subordonnée aux roches schisteuses et placée généralement entre ces roches et celle de la formation trappéenne; tandis qu'ils ne pouvaient supposer pour les kalk-trapps et les mandelsteins une autre origine que celle des grunsteins.

Même après avoir lu les diverses publications dont ils ont été l'objet, il reste bien difficile de définir les schalsteins; ce sont, le plus souvent, des roches compactes et lithoïdes, vertes ou rougeâtres, très-fendillées, surtout suivant le sens général de la stratification, de manière à être plateuses. Quelques variétés sont schisteuses; d'autres sont bréchiformes, massives, et se décomposent en boules et zones concentriques, comme les grunsteins eux-mêmes. La couleur rouge des schalsteins devient quelquefois très-prononcée, et ils contiennent accidentellement des bancs concordants de peroxyde rouge de fer. Enfin, les amygdaloïdes variolitiques à noyaux calcaires, appelées mandelsteins, font encore partie des schalsteins, et se développent surtout dans les parties du sol où il existe des calcaires dévoniens.

Abstraction faite des amygdaloïdes, les *schalsteins* reproduisent la plus grande partie des caractères assignés aux *gabbros* verts et rouges de l'Italie. Par les amygdaloïdes et les bancs subordonnés de fer oligiste, ils se confondent avec les *blattersteins* du Hartz.

Toutes les considérations qui démontrent que les gabbros sont des roches métamorphiques stratifiées, au contact des masses

éruptives, s'appliquent aux schalsteins et aux blattersteins, car ces trois types de roches présentent des identités remarquables dans les conditions de leur gisement. Toutes trois se trouvent vers les périmètres des groupes trappéens auxquels elles sont subordonnées, suivent les contours des masses éruptives, et, en même temps, les allures stratifiées de dépôts soulevés. Toutes trois présentent les passages minéralogiques les plus ménagés qui les lient, d'une part, avec les roches évidemment éruptives, et, d'autre part, avec les roches évidemment stratifiées. Enfin, toutes trois sont partiellement surchargées de peroxyde rouge de fer, trop abondant pour qu'on puisse le supposer dû à la suroxydation du fer préexistant, et qui a été, suivant toute probabilité, surajouté par des émanations spéciales.

En étudiant les rapports des schalsteins avec les gîtes métallifères, nous aurons encore occasion de signaler d'autres analogies. Prenons un exemple qui nous permettra de préciser les conditions du gisement des grunsteins, des schalsteins et des roches stratifiées du Dillenburg, puis de décrire l'allure et la composition des gîtes métallifères qui se trouvent dans ces terrains.

Au nord de Dillenburg, la vallée de la Dill se trouve encaissée par des groupes montagneux surbaissés, qui renferment des mines de cuivre exploitées depuis longtemps. Sur la rive gauche, une compagnie anglaise a ouvert des travaux assez développés aux environs de Nanzenbach ; sur la rive droite, plusieurs compagnies allemandes sont disséminées, notamment au-dessus du village de Weidmansheil, où se trouvent les mines de Stangenwaage, Bergmansglucke et Haus-Nassau.

Le terrain qui encaisse ces divers gîtes est en strates fortement inclinées, dirigées du nord-ouest au sud-ouest, suivant le mouvement général des couches dévoniennes et siluriennes du pays ; de telle sorte que la projection horizontale des diverses couches forme une succession de zones parallèles, assez disparates et qui coupent obliquement la vallée de la Dill.

Ces couches appartiennent à des thonschiefer bleuâtres alternant avec quelques bancs calcaires ; elles sont accidentées par des grunsteins très-développés, qui, le plus souvent, se sont insérés suivant les plans fortement redressés de la stratification, et se montrent avec toutes les roches annexes métamorphiques, c'est-à-dire avec

les thonschiefer rouges qui représentent un premier degré d'altération du terrain soulevé, et avec les schalsteins (1).

On peut étudier les diverses roches du terrain en se rendant aux mines par la petite route située au nord-ouest de Dillenburg, route qui côtoie des escarpements dénudés. On reconnaît de fort loin les surfaces massives et ondulées des grunsteins, et l'on trouve, sur les haldes des mines, les échantillons les plus variés des roches recoupées par les galeries percées perpendiculairement à la direction des couches, de manière à les traverser toutes. En s'aidant de la carte des mines, on arrive à une connaissance précise des caractères minéralogiques de ces roches et de leur position relative.

Sous le rapport minéralogique, les schalsteins, dont les caractères sont si mobiles, sont les roches qui intéressent le plus. On y reconnaît les variétés bréchiformes à fragments anguleux, verts ou rougeâtres, les variétés amygdaloïdes à mélange de spath calcaire, tantôt en veines irrégulières, tantôt en globules radiées de toutes dimensions ; enfin, ces variétés vertes ou rouges, compactes et homogènes, qui jettent tant d'incertitude sur leur origine. Parmi les roches liées aux schalsteins et partageant leur allure, se trouve le peroxyde rouge de fer, qui forme des bancs irréguliers.

Ces bancs de fer oligiste reproduisent toutes les conditions de gisement et de composition des bancs de fer oligiste subordonnés aux blattersteins dans la vallée de Lerbach au Hartz.

Sur les haldes, on est frappé de la forme plateuse de tous les fragments de schalsteins, et, en examinant les couches en place, on reconnaît que les fissures principales qui déterminent cette structure, et même donnent quelquefois à la roche une structure schistoïde, sont parallèles aux plans de la stratification.

Les couches de schalstein sont quelquefois comprises entre des couches schisteuses ou calcaires, sans le contact immédiat des grunsteins. Cet isolement est assez fréquent, et, si on le rapproche de cet autre fait, que plus souvent encore, le grunstein est en con-

(1) Il y a encore un rapprochement intéressant à faire entre les roches altérées du Dillenburg et celles de la Toscane. Il existe deux degrés d'altération représentés dans les deux localités, le premier par les schistes rouges du Dillenburg et par les galestri ou les mattoni de la Toscane qui reproduisent les mêmes caractères minéralogiques ; le second par les schalsteins et les gabbros.

tact immédiat avec le terrain schisteux sans lisières intermédiaires de schalstein, on arrive à conclure que la formation des schalsteins n'est pas simplement due à des circonstances de contact. Ces roches dérivent probablement, ainsi que les couches de fer oligiste, de phénomènes d'émanations complexes et prolongées qui ont suivi les éruptions trappéennes et transformé des roches préexistantes.

Examinons maintenant les gîtes cuprifères : ils consistent en filons assez nombreux. Les uns, continus et assez puissants, ont une allure généralement perpendiculaire à la direction des couches, quoique cette allure soit assez tortueuse : ce sont les filons principaux. Les autres, beaucoup plus nombreux, sont très-courts et très-minces ; leur allure se confond avec les plans de la stratification.

Le filon principal du Stangenwaage traverse la série de toutes les couches du terrain, perpendiculairement au plan de leur stratification, et se trouve, par conséquent, dans des *milieux* très-différents, suivant que le toit et le mur sont formés par des calcaires, des schistes argileux, des schalsteins ou des grunsteins. Le remplissage principal est formé de quartz, auquel se joignent, en plus ou moins grande quantité, le peroxyde de fer et les débris empruntés aux roches du toit et du mur. La pyrite cuivreuse pure, souvent cristallisée, se trouve engagée dans ces gangues, et l'expérience de l'exploitation a démontré depuis longtemps: que *les filons n'étaient puissants et riches en pyrite cuivreuse, que lorsqu'ils traversaient les grunsteins ou les schalsteins.*

Les mineurs du Dillenburg ont donné le nom de *milieu-noble* (edle-mittel) aux parties qui contiennent la pyrite cuivreuse en proportions avantageuses ; or ces milieux n'existent précisément que lorsque les filons traversent les roches précitées.

On voit qu'il y a là une loi d'enrichissement qui peut s'expliquer par ce fait, observé dans les filons d'autres contrées, que, les cassures étant mal développées dans les terrains schisteux, les filons y sont peu puissants et remplis de débris stériles, tandis que les grunsteins et les schalsteins, par la nature nette et franche des cassures, ont offert aux émanations métallifères des évents larges et plus durables. Cependant une seconde loi vient ajouter à l'importance de la première, et peut faire attribuer à ces roches une

influence métallifère plus directe et plus prononcée ; c'est que ces filons-fentes, qui, par leur origine, sont généralement peu dépendants des roches encaissantes, n'existent que dans des positions analogues à celles que nous venons de décrire, c'est-à-dire sont réellement subordonnés à la proximité des roches trappéennes.

Ainsi, dans le vaste massif de transition des provinces rhénanes, les caractéristiques de la richesse minérale sont le fer spathique, la blende et la galène ; il s'y trouve peu de mines de cuivre proprement dites, à l'exception des filons de Rheinbreitbach. Dans tous les pays trappéens du Dillenburg, nous voyons, au contraire, une multitude de filons exclusivement caractérisés par le fer oligiste, la pyrite cuivreuse et le cuivre gris, et toujours la richesse y présente des relations de voisinage et de contact avec les roches trappéennes. Quittons les trapps pour aller vers le pays de Siegen, si riche en minerais, la pyrite cuivreuse disparaît et n'est déjà plus qu'un minerai rare et accidentel.

Tous les observateurs qui ont décrit les schalsteins ont constaté une intimité géognostique entre la formation des schalsteins et celle des filons cuprifères et des bancs de fer oligiste. Ainsi, d'après Stifft, les schalsteins doivent être considérés comme le gisement principal des gîtes de fer et de cuivre dans le Dillenburg. D'après Schneider, les schalsteins sont spécialement caractérisés par des bancs subordonnés d'oxyde rouge de fer, qui ont un caractère de stratification; en même temps ils sont traversés par des filons de pyrite cuivreuse et de cuivre gris argentifère. D'après Cramer, les filons cuivreux qui traversent les schalsteins et les roches alternantes sont constamment ennoblis dans les schalsteins et mandelsteins, et sont d'autant plus riches et puissants que ces roches sont plus chargées de peroxyde rouge de fer ; dans la grauwacke et les schistes, ils sont peu puissants, difficiles à suivre et souvent se perdent tout à fait.

La constitution du terrain métallifère du Dillenburg et les relations qui y régissent l'enrichissement des filons donnent lieu à une disposition toute particulière des minerais.

Les couches alternantes qui forment le massif de Stangenwaage sont fortement relevées et plongent sous des angles de 55 à

75 degrés; or, comme les filons qui traversent ces alternances presque perpendiculairement à leur direction ne s'enrichissent que dans les grunsteins et dans les schalsteins, il en résulte que les zones métallifères des filons sont inclinées comme les sections verticales des milieux traversés. Ainsi donc, en rapportant l'allure des zones métallifères à la direction et à l'inclinaison des filons, on trouve que ces *zones d'enrichissement suivent des lignes inclinées, diagonales entre l'inclinaison et la direction des filons.*

Cette allure diagonale des zones métallifères dans les filons n'est pas un fait exceptionnel. On a cité des exemples dans beaucoup de filons et notamment dans ceux qui sillonnent la rive droite du Rhin, d'Holzappel à Saint-Goar; mais ici le fait est expliqué par l'influence et l'allure des roches encaissantes.

Voici donc encore un exemple où l'étude de la théorie des filons et de leurs relations géognostiques doit servir de guide aux exploitants. On voit, en effet, que des travaux verticaux, entrepris pour recouper en profondeur les parties reconnues avantageuses dans les premiers niveaux, finissent par conduire dans des zones stériles; dès lors on aurait pu s'emparer d'un insuccès de cette nature et déclarer que les filons ne présentaient aucune garantie de richesse en profondeur, tandis qu'en réalité, si les travaux sont maintenus suivant l'inclinaison des schalsteins, ils ne cessent pas de rencontrer des minerais. Cette étude de relations qui peuvent exister entre la nature des épontes et la distribution des minerais dans les filons eût été plus naturellement à sa place dans la partie de ce travail où nous traiterons de la continuité des minerais en profondeur; si nous l'avons placée ici, c'est parce qu'elle démontre combien les minerais se trouvent liés aux roches trappéennes et métamorphiques.

Les grunsteins des environs de Dillenburg présentent un cas remarquable de dissémination de minerai dans la pâte même de la roche éruptive. C'est un dyke de 5 à 10 mètres de puissance, pénétré de sulfure de nickel, en cristaux ou aiguilles répandus dans toute la pâte, de manière à laisser peu de doutes sur le fait de contemporanéité. L'exploitation, qui date déjà de longtemps, a trouvé dans ce grunstein une source de production de nickel d'un grand intérêt, puisqu'elle repose sur un minerai jusqu'ici fort rare et dont l'origine éruptive se trouve ainsi établie.

La liaison des schalsteins du Dillenburg avec les minerais de cuivre est une considération à ajouter à celles sur lesquelles nous avons appuyé leur assimilation avec les gabbros du nord-ouest de l'Italie ; leur liaison encore plus intime avec les gîtes de fer oligiste et leur rubéfaction fréquente les identifient d'une manière non moins directe avec les blattersteins du Hartz.

En résumant ce qui vient d'être exposé sur les relations des grunsteins et schalsteins avec les gîtes métallifères, nous trouvons les roches trappéennes du Dillenburg : 1° exerçant des influences d'enrichissement sur de nombreux filons cuprifères qui les traversent, et dont le développement leur est d'ailleurs subordonné ; 2° contenant accidentellement du fer oligiste englobé dans leur masse, et du sulfure de nickel disséminé en cristaux contemporains ; 3° présentant des relations de contact avec des gîtes multipliés de fer oligiste.

Certains gîtes métallifères subordonnés aux roches trappéennes appartiennent à des époques géologiques très-récentes. Nous citerons, sous ce rapport, les gîtes de la Toscane liés aux serpentines qui appartiennent évidemment à la période tertiaire et pouvant être considérés comme les plus rapprochés des roches volcaniques.

Les serpentines de l'Italie forment, depuis Savone, dans le golfe de Gênes, jusqu'au Monte-Argentario, à l'extrémité sud de la Toscane, les traits les plus saillants du relief d'une chaîne littorale qui traverse les territoires de Gênes, de Modène, de Lucques et la Toscane, et qui, sur la plus grande partie de son parcours, est désignée sous le nom de Chaîne métallifère. Les caractères de composition et de formes des serpentines sont évidemment éruptifs, surtout par les circonstances de soulèvement et d'altération qu'elles ont déterminées dans les roches traversées. Les masses serpentineuses forment presque toujours des points culminants ; elles sont accompagnées de roches de contact, désignées sous la dénomination de *gabbros* et pouvant être divisées en deux catégories, les *gabbros verts* et les *gabbros rouges*. Ces gabbros sont les roches qui contiennent ordinairement les minerais.

Les gabbros rouges sont, en quelque sorte, les premières roches de contact qui aient été remarquées et signalées comme métamorphiques. Leur couleur rouge, due à la quantité considérable de fer

oligiste terreux dont ils sont surchargés, contraste avec les couleurs habituelles des formations sédimentaires de la contrée et avec les serpentines elles-mêmes. Il n'y a aucune trace de stratification dans le véritable gabbro-rosso ; sa structure est souvent bréchiforme, et l'on y distingue des fragments verts stéatiteux parmi les fragments rouges qui dominent ; souvent on y trouve du pyroxène et du spath calcaire.

Ces caractères, analogues à ceux des spillites, laissent l'esprit indécis sur l'origine des gabbros. Lorsqu'on les voit constituer des pitons isolés, de formes analogues à celles des pitons serpentineux, on est tenté de les supposer éruptifs ; mais, d'autre part, ils se lient à des roches schisteuses évidemment stratifiées (galestri et mattoni), et de plus, on ne peut manquer d'être frappé de ce fait, que la condition de leur existence est le contact des masses serpentineuses auxquelles ils sont subordonnés.



Fig. 56. — Le cap du Romito.

Le gisement des mattoni peut servir d'introduction à l'étude des réactions des serpentines sur les roches qu'elles ont traversées. Au Romito, au sud de Livourne, figure 56, un cap serpentineux a soulevé et ployé les macignos, en les calcinant comme de la brique, et c'est l'aspect rougeâtre de ces grès fendillés dans tous les sens, qui leur a fait donner le nom de mattoni.

En examinant de loin certains massifs serpentineux, dont les flancs ont été dénudés, l'œil saisit avec assez de précision, d'après le mouvement des masses rocheuses et leur structure en grand, quelles sont les lignes de séparation des roches soulevantes et des roches soulevées ; en s'approchant ensuite, on reconnaît que les lignes de contact, ainsi pressenties, laissent toujours les gabbros avec les roches stratifiées.

L'étude des gabbros verts confirme cette classification du gabbro-rosso dans les roches de contact. La serpentine présente des caractères physiques tellement contrastants avec le gabbro-rosso, que l'esprit admet difficilement cette dernière roche comme dérivant de la première; le gabbro vert établit le passage. Cette roche est, en effet, stéatiteuse comme les serpentines auxquelles elle est quelquefois soudée, tandis que, d'autre part, elle s'unit par des passages minéralogiques à des roches schisteuses évidemment stratifiées; en même temps, elle passe aussi au gabbro-rosso, en se bariolant de parties rouges sporadiques, puis se chargeant de peroxyde de fer d'une manière générale. Souvent il arrive que sur les flancs d'une même masse de serpentine on trouve d'un côté les gabbros rouges et de l'autre les gabbros

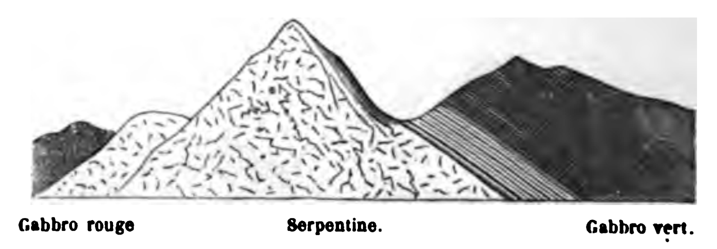


Fig. 57. Disposition des serpentines et des gabbros.

verts, ainsi que l'indique la figure 57, de sorte qu'il reste démontré que le gabbro-rosso n'est qu'un gabbro vert de contact, qui a subi des influences particulières, dont le résultat a été de surcharger la roche de fer oligiste, en la rendant en outre plus dure et plus cristalline.

Les minerais de cuivre et de fer qui forment le trait caractéristique de la chaîne métallifère sont, en quelque sorte, parqués dans ces roches de contact ou disséminés dans des amphibolites éruptives, qui sont elles-mêmes liées aux serpentines. Ainsi les filons stéatiteux, qui le plus souvent séparent les gabbros verts et rouges des masses serpentineuses, et qui d'autres fois parcourent ces gabbros parallèlement aux courbes du contact et semblent y accuser des clivages de stratification, contiennent souvent des minerais de cuivre sulfuré, panaché ou pyriteux.

Les amphibolites cuprifères et plombifères de Campiglia sont des résultats différents d'actions analogues, isolées de serpentines, mais qui leur sont contemporaines. Les minerais de fer sont dans le même cas ; le gîte de Rio, dans l'île d'Elbe, est un gîte de contact placé entre les gabbros et les schistes altérés, et subordonné aux masses serpentineuses de Sainte-Catherine ; le gîte éruptif de Calamita, avec ses yénites et ses amphibolites, est, comme ceux du Campigliese, un produit plus direct de l'action souterraine. Enfin, le fer oligiste, dont les gabbros et les terrains stratifiés sont si souvent imbibés vers les contacts serpentineux, résulte des mêmes émanations métallifères.

Les minerais de cuivre de la Toscane sont ceux qui par leurs gangues et leur structure semblent les plus aptes à déterminer leur origine. Ainsi dans les calcaires marbres, en assises stratifiées, mais massives, considérés comme représentant des calcaires jurassiques altérés dans leur ensemble par des actions métamorphiques, se trouvent des filons.

Ces filons, presque verticaux, ont une direction, mais leurs épontes ne sont pas déterminables, tant les substances qui les composent sont enchevêtrées dans les calcaires, par des pénétrations et des injections latérales.

Les gangues, l'amphibole radiée et l'yénite cristalline sont évidemment formées *en partie* aux dépens des calcaires encaissants ; mais la silice et le fer intervenus pour les former sont nécessairement des substances adventices. Ces substances ont été amenées dans des fentes préexistantes, dans des conditions telles que l'amphibole et l'yénite ont pu se former à l'état largement cristallin.

Quant aux minerais, ils consistent en pyrite de cuivre, galène et blende, et tous se trouvent avec l'amphibole et l'yénite dans des relations de groupement qui démontrent une origine simultanée. Nous avons parlé déjà de la structure radiée à zones concentriques qui prouve ce mode de formation : nous reproduisons ici l'échantillon de pyrite cuivreuse, en noyaux et zones concentriques avec l'amphibole, afin de le placer à côté d'un spécimen d'échantillon de blende et galène formant de petits noyaux autour desquels se sont développées des zones radiées et concentriques d'amphibole et de

bustamite; de petites veines formées de galène et de blende soudent en outre ces sphéroïdes dont l'ensemble forme un filon (fig. 58).

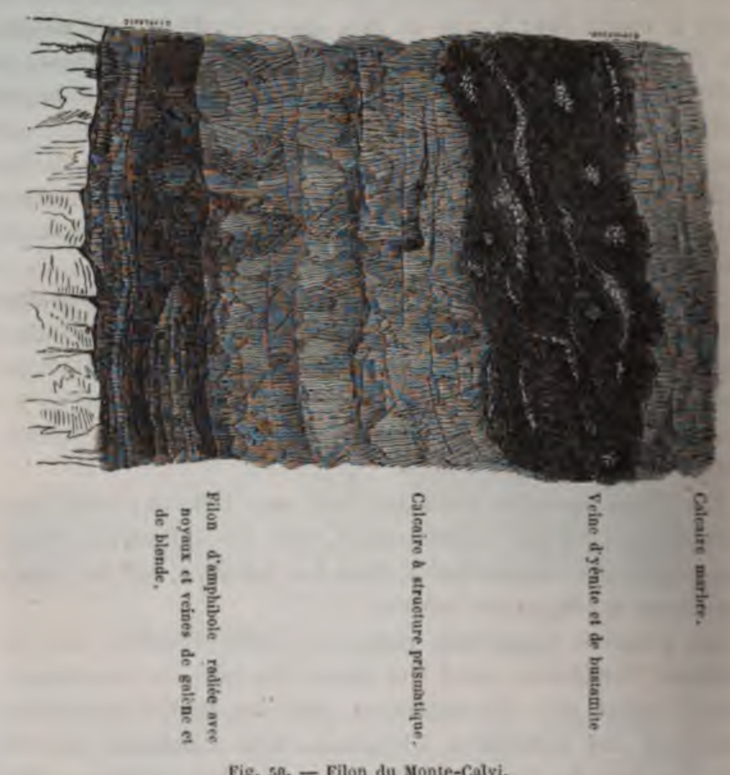


Fig. 58. — Filon du Monte-Calvi.

Nous avons déjà signalé la structure de ces gîtes, nous y ajouterons quelques détails pris dans la mine du Temperino. Au moment où cette mine a été assez activement reprise et exploitée (1840 à 1850), nous avons dessiné deux chantiers qui nous ont paru les plus expressifs (planche XVI).

Dans l'un, l'amphibole verte, fibreuse et radiée, formait la gangue exclusive. Les minerais étaient la pyrite cuivreuse et la pyrite de fer. Ces minerais étaient disséminés par nœuds et particules dans toute la masse et, lorsque l'amphibole prenait la structure radiée, ils formaient des centres ou des portions de zones concentriques dans les sphéroïdes (fig. 59).

Le second chantier représente une gangue d'yénite noire et cristalline. La pyrite cuivreuse y formait des zones parallèles qui avaient jusqu'à un décimètre de largeur, non pas à l'état de pureté, mais imprégné d'yénite et se fondant graduellement dans cette



Fig 59. — Fragment de pyrite cuivreuse enveloppée d'amphibole radiée.

gangue, de telle sorte que le rubanement n'était appréciable que lorsqu'on examinait la structure en grand. Les morceaux abattus et sortis de la mine présentaient simplement des mélanges de pyrite cuivreuse et d'yénite à divers titres.

Les gîtes métallifères ainsi liés aux amphiboles et aux yénites de la Toscane doivent être considérés comme des annexes des éruptions serpentineuses. Peut-être serait-il plus exact de les désigner comme gîtes métamorphiques produits à la suite de ces

éruptions que comme des gîtes réellement éruptifs. Cela dépend entièrement de la valeur que l'on attache à ces deux classifications.

Un minéral amené dans le cratère ou dans les fissures du Vésuve où de l'Etna n'est-il pas éruptif, bien qu'il ait été amené par des sublimations et des vapeurs. Cela nous paraît évident lorsque les roches encaissantes ne contenaient aucun des éléments ainsi amenés. Lors donc que des minerais de cuivre, fer, zinc et plomb ont été produits par des phénomènes qui doivent être identiques, ces minerais peuvent être qualifiés éruptifs.

Or, que l'on considère l'ensemble des gîtes qui contiennent ces minerais, sur les flancs du Monte-Calvi, près Campiglia, en Toscane. Les vieux travaux y jalonnent deux séries de gîtes linéaires et parallèles que la planche XVII met en évidence. Ces deux séries linéaires et parallèles, constatées sur quatre kilomètres de longueur, ne sont pas continues, mais elles représentent évidemment deux grandes fissures suivant lesquelles les émanations métallifères se sont fait jour. Ces émanations, réagissant sur les épontes calcaires et argileuses, les ont pénétrées, en formant à leurs dépens les gangues d'yénite et d'amphibole, mais l'ensemble conserve le caractère d'émanations volcaniques.

Les minerais subordonnés aux serpentines de la Toscane ne sont pas des faits isolés, on en trouve d'autres exemples, notamment dans les serpentines de Reichenstein, en Silésie, qui fournissent aux collections minéralogiques les échantillons les plus expressifs de minerais disséminés dans la masse éruptive. Les groupements de ces minerais avec la serpentine fibreuse ou chrysotile et les stéatites de contact démontrent leur contemporanéité.

Les gîtes de Reichenstein contiennent du mispickel en telle quantité, qu'on y a établi une exploitation spéciale pour la fabrication des produits arsenicaux. La serpentine constitue un dyke de 10 à 80 mètres de puissance qui traverse les gneiss ; le mispickel est englobé dans la masse éruptive, tantôt en amas ellipsoïdaux, tantôt en veines cristallines ; quelquefois il est disséminé dans la pâte serpentineuse sous forme de petits cristaux et donne à la roche un aspect porphyroïde. Accidentellement on trouve, avec le mispickel, du fer oxydulé, des pyrites de fer et de la blende.

MINERAIS DE LA PÉRIODE VOLCANIQUE

Les gîtes métallifères, liés aux roches volcaniques, présentent un intérêt particulier ; ils se rapprochent de l'époque actuelle et des phénomènes qui se passent sous nos yeux. Après avoir constaté une production métallifère importante et générale, par les émanations trappéennes qui ont dû avoir une grande analogie avec les émanations volcaniques, on est conduit à se demander pourquoi des actions naguère si énergiques semblent, au premier abord, avoir laissé si peu de traces pendant la période des éruptions volcaniques.

Si nous consultons, en effet, le catalogue des substances métalliques apportées à la surface par les vapeurs émanées des cratères ou des fissures des volcans actuels, nous trouvons le fer en abondance, puis en petites quantités, le manganèse, le cuivre, l'arsenic, et en quantités encore moindres, le plomb et le cobalt.

Il reste donc bien des lacunes dans la série des métaux usuels, et l'on peut s'étonner de ne pas trouver l'or, l'argent, le tellure, le platine et ses annexes, l'antimoine, le mercure, le nickel, que nous avons vus dans les gîtes trappéens. Ces métaux ont-ils existé du moins à l'époque des trachytes et des basaltes ? Les émanations métallifères, après avoir suivi une marche ascendante depuis les granites jusqu'après les serpentines et les trapps, ont-elles subi un affaiblissement progressif, pour n'être représentées, à l'époque actuelle, que par des minéraux si restreints en nombre et en quantité ?

Ou bien encore, ne peut-on dire : Les émanations métallifères nous paraissent avoir été un phénomène considérable, parce que nous trouvons dans les gîtes le total de ce qu'elles ont produit pendant toute la série des temps géologiques? Pendant toutes les périodes elles ont été, comme à l'époque actuelle, très-lentes et très-minimes ; c'est leur continuité pendant l'immense durée de ces périodes, qui nous fait paraître leur action importante.

La pensée de M. Elie de Beaumont est que les substances mé

talliques, métaux natifs, oxydes ou sulfures, sont répandus d'une manière uniforme et presque imperceptible dans les masses minérales de l'intérieur du globe; que des vapeurs et des courants électriques ont dû les entraîner vers la surface en les accumulant dans les fissures, les cavités et les roches distendues que ces vapeurs et ces courants pouvaient traverser. Les courants électriques, dont l'existence a été constatée dans les filons par le professeur Reich de Freyberg, n'ont dû exercer que des actions très-lentes, ainsi que les vapeurs exhalées par les roches en fusion de l'intérieur du globe.

La période volcanique comprend les trachytes, les basaltes et les laves des volcans éteints ou actifs. Elle correspond à peu près exactement à la période des dépôts tertiaires.

Cette période volcanique succédait aux éruptions trappéennes qui ont eu une si grande action de produits métallifères. On ne peut guère admettre que cette action générale et énergique se soit affaiblie subitement et qu'il n'y ait par conséquent un grand nombre de gîtes de minerais formés à la suite des trachytes et des basaltes.

Mais à l'époque où les ingénieurs et les géologues s'occupaient de l'étude des gîtes métallifères, on était si loin de supposer que l'âge de leur formation pût être moderne, que les faits qui auraient pu indiquer ce point de vue ont été négligés. L'âge moderne d'un grand nombre de gîtes a été révélé non par les relations qu'ils doivent avoir avec les trachytes et les basaltes, mais par l'âge récent des terrains encaissants.

S'il a fallu, comme nous le pensons, des émanations métallifères qui ont duré pendant des périodes géologiques entières, pour former des gîtes de quelque importance, quel âge assigner à ces gîtes lorsqu'ils traversent des terrains crétacés ou supra-crétacés? Ce sont indubitablement des minerais tertiaires, et par conséquent ces minerais doivent appartenir à la période volcanique.

Le nombre des gîtes métallifères reconnus comme subordonnés aux roches volcaniques est jusqu'à présent très-restreint; mais probablement cela vient de ce que l'idée de rechercher ces relations était tellement loin de la pensée des géologues, qu'ils ont négligé de faire aucune étude à cet égard. Il est probable que si

les observateurs qui ont étudié les mines de l'Amérique méridionale avaient examiné avec soin les relations qui peuvent exister entre les trachytes et un grand nombre de gîtes argentifères et aurifères des Andes Cordillères, ils eussent constaté de nombreux exemples de liaison géognostique. Le caractère tout particulier de la richesse minérale du nouveau monde résulte certainement de l'âge très-moderne du soulèvement des Andes.

Ce qui donne quelque poids à cette opinion, c'est qu'on a trouvé des rapports fréquents entre les roches volcaniques et les gîtes métallifères riches en métaux précieux, dans des contrées moins nettement caractérisées que les districts de l'Amérique du Sud, et, surtout, que les recherches faites depuis dix ans sur l'âge géognostique des minerais ont démontré presque partout que les gîtes étaient beaucoup plus modernes qu'on ne l'avait pensé d'abord.

En Hongrie, les gîtes aurifères qui sont les plus importants de l'Europe et dont les minerais consistent principalement en or natif, tellure auroplombifère et tellure auro-argentifère, sont subordonnés à des porphyres trachytiques tertiaires, de telle sorte qu'ils présentent la double circonstance d'un âge très-moderne et d'une composition toute spéciale, riche en métaux précieux.

Nous avons signalé le gisement des filons de la Hongrie et de la Transylvanie, subordonné aux trachytes qui ont soulevé les terrains miocènes. Ces filons traversent à la fois ces terrains

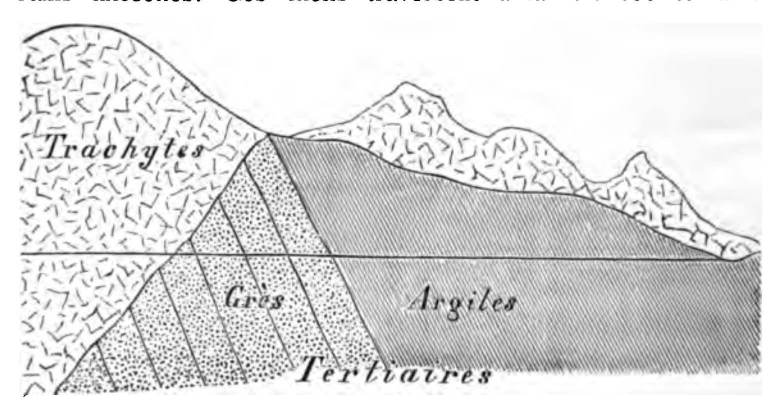


Fig. 60. — Disposition des terrains traversés par les filons de Nagyag.

tertiaires et les trachytes qui sont sortis en les soulevant. La figure 60 est un nouvel exemple pris à Nagyag.

et de l'Espagne doit se rapporter à la période tertiaire. Les minerais de cuivre de la Toscane sont, en effet, subordonnés à des serpentines postérieures aux calcaires crétacés supérieurs et aux macignos ; ils sont par conséquent contemporains des trachytes et basaltes de certaines contrées.

En Algérie, le terrain métallifère, celui qui contient les filons de cuivre gris de Mouzaïa, ceux de cuivre gris et cuivre pyriteux de Tenès et ceux de sulfure et d'oxyde d'antimoine de Guelma, se compose de dépôts argileux supracrétacés. On n'a pu déterminer encore ni l'âge précis de ces dépôts, ni les roches éruptives dont les filons peuvent dépendre ; mais il est probable que certaines roches amphiboliques découvertes dans l'Atlas, notamment dans le pic des Mouzaïas, et dont les blocs roulés se retrouvent sur certaines plages des environs de Tenès, sont celles dont la sortie a soulevé l'Atlas et déterminé les fractures de tous ces filons que caractérisent le fer spathique, les minerais de cuivre et d'antimoine. Or, ce soulèvement a affecté les dépôts tertiaires des environs d'Alger et de Médéah.

En Espagne, on trouve des gîtes métallifères dans des positions analogues, et quelques-uns, notamment dans la province de Zamora, reproduisent les caractères des gîtes antimonifères de la province de Constantine.

Dans les contrées de transition elles-mêmes, on a été amené à constater l'âge récent de certains filons, et nous rappellerons ici les études précédemment citées sur quelques filons de l'Erzgebirge.

Les nombreux filons de la Saxe et de la Bohême se rattachent presque tous aux divers porphyres de la contrée et forment une série dont l'âge correspond assez exactement à la durée de la période secondaire. Mais, sur quelques points, on a pu constater que les émanations métallifères s'étaient prolongées pendant la période tertiaire et que certains filons se rapportaient aux basaltes. Plusieurs filons des environs de Joachimsthal présentent à cet égard des faits incontestables : par leur allure, ils sont subordonnés aux basaltes qui, dans certains cas, remplissent les fractures concurremment avec les minéraux métallifères. Plusieurs de ces filons traversent des dykes basaltiques et sont coupés eux-mêmes par

d'autres dykes. Il y a donc eu, parallèlement à la sortie des basaltes, formation de plusieurs systèmes de fractures et des émanations métallifères prolongées. La présence de certains minerais de nickel et de cobalt, mêlés aux minerais d'argent, paraît donner à ces filons modernes un caractère minéralogique particulier.

Il existe dans le département du Puy-du-Dôme, près du village de Pont-Vieux, un faisceau de filons métallifères contenant principalement des pyrites et des jamesonites argentifères et aurifères. Ces filons sillonnent des schistes argileux, soulevés et percés par des roches basaltiques, dont les rapports de position et d'allure avec les filons sont tels, que M. Debette, qui les a étudiés avec soin, conclut que l'apparition des basaltes a déterminé les fractures dans lesquelles se sont formés les filons. Or, comme les basaltes de l'Auvergne sont postérieurs aux terrains tertiaires, il résulterait de cette observation qu'il s'est formé des gîtes métallifères pendant la période alluviale. La nature toute particulière de ces minerais, leur teneur en argent et surtout en or, viendrait à l'appui de cette idée que les gîtes aurifères sont de formation très-récente.

L'âge moderne des gîtes aurifères semble démontré ainsi que nous l'avons précédemment indiqué, par la présence exclusive de l'or dans les terrains d'alluvion. Dans beaucoup de cas, les émanations métallifères ont mêlé leurs produits aux roches sédimentaires des diverses périodes ; les minerais de cuivre du Zechstein en Thuringe, ceux des grès bigarrés de la Bolivie, sont évidemment contemporains des dépôts dans lesquels ils se trouvent. Si les quartz aurifères avaient existé avant les grandes formations détritiques du trias ou du grès vert, ne trouverait-on pas l'or disséminé dans ces dépôts, véritables alluvions de la période secondaire, et la concentration de ce métal dans les alluvions des vallées actuelles ne semble-t-elle pas prouver qu'il appartient aux époques les plus modernes?

L'époque récente des actions souterraines qui ont introduit de l'or natif dans les roches métamorphiques est encore attestée par les conditions générales du gisement de ces roches.

La distinction établie entre les gîtes réguliers et irréguliers ne s'applique pas seulement aux différences de formes qui caractérisent ces deux classes de gîtes, mais encore à leur richesse.

Les gîtes irréguliers présentent les plus grandes variations dans leur composition, aussi bien que dans leurs formes ; ils passent de dimensions excessives aux dimensions les plus restreintes, et de grandes concentrations métallifères à une pauvreté telle que les exploitations ne peuvent s'y maintenir.

Les mines ouvertes sur des groupes de filons, comme celles du Hartz, de la Saxe, du Cornwall, etc., produisent, au contraire, presque toujours les mêmes minerais et les mêmes quantités. Aussi peut-on avancer ce fait, que, malgré les périodes brillantes de leur exploitation, les gîtes irréguliers sont généralement moins avantageux que les filons. Dans toutes les contrées métallifères où la production est stable et régulière, les filons sont en grande prédominance, tandis que les gîtes irréguliers, après des périodes brillantes, ont été le plus souvent abandonnés. Nos mines de Chessy fournissent un exemple qui se reproduit dans bien des pays ; la plupart des gîtes irréguliers stannifères sont abandonnés, et bon nombre de gîtes irréguliers de galène, de calamine, ou de minerais cuprifères, après avoir joué un rôle important, figurent à peine dans le tableau de la production de mines, ou n'ont plus que peu d'années d'existence assurée.

En effet, par la condition même de leur irrégularité, ces gîtes, lorsqu'ils présentent une très-grande puissance à la surface ou près de la surface, doivent diminuer en profondeur, et, le plus souvent, par des étreintes rapides ; c'est la pauvreté et l'exiguïté qui succèdent à la richesse et à la puissance. Quelquefois c'est l'inverse qui se présente, et tel gîte, comme celui du Rammelsberg au Hartz, ou de Monte-Catini en Toscane, commencera par un affleurement de peu d'importance, et se dilatera progressivement en profondeur de manière à atteindre un maximum de développement sous le double rapport de la concentration des minerais et de l'élévation de leur titre ; mais ce maximum une fois atteint, il décroîtra.

Alors se présenteront des problèmes de direction et de continuité d'autant plus difficiles à résoudre, que les travaux auront une plus grande profondeur, et que la déception éprouvée par les

exploitants aura ébranlé leur zèle et leur persévérance. Ajoutons aussi une remarque faite en plus d'une circonstance, c'est que les exploitants, habitués à trouver dans les parties dilatées des minerais riches et abondants, sont conduits à regarder comme insignifiants des indices de continuité qui, partout ailleurs, seraient considérés et suivis comme des guides d'une importance réelle et qui pourraient, en effet, conduire au rétablissement de la production.

La conséquence naturelle de l'irrégularité qui caractérise cette classe de gîtes est que les variations de leurs produits, et souvent leur appauvrissement et l'abandon qui en a été la suite, ont fourni des arguments nombreux contre la continuité des minerais en profondeur. Il est donc essentiel de distinguer tout d'abord les filons-fentes des gîtes irréguliers, et de ne pas appliquer à une classe de gîtes des conclusions tirées d'observations faites sur une autre classe. C'est ce qui est arrivé lorsqu'on a voulu juger les filons de la Bretagne d'après les gîtes irréguliers plombifères de la côte orientale d'Espagne. Les deux éléments n'étaient pas plus comparables que si l'on prétendait condamner la production future de l'argent au Mexique, production qui repose principalement sur l'exploitation de filons, parce que les gîtes irréguliers du Potosi ont dû être abandonnés.

Avant d'examiner la question de la continuité des minerais en profondeur, établissons donc ce point essentiel, que les filons seulement sont comparables entre eux, et que, parmi les gîtes irréguliers, on doit chercher à assimiler ceux que leurs conditions de forme et de gisement permettent de regarder comme résultant de phénomènes analogues. La théorie devient ici un guide nécessaire, car on ne pourrait, par exemple, appliquer utilement les faits observés sur des gîtes éruptifs à ceux qui résultent des phénomènes de contact.

DE LA CONTINUITÉ DES MINERAIS DANS LES FILONS.

Il y a soixante ans, M. Héron de Villefosse, chargé de la direction générale des principales mines de l'Allemagne, recueillit tous les documents relatifs à leur situation et à leurs travaux, docu-

ments qui furent publiés sous le titre de : *la Richesse minérale*. Cet ouvrage a si bien précisé l'état des mines de l'Allemagne qu'il peut encore servir de guide aujourd'hui pour leur étude, et que, sauf la plus grande extension des travaux et les nombreux perfectionnements du matériel employé dans les exploitations, on n'y trouve pas de changements bien considérables. Les mines de Clausthal et d'Andreasberg, au Hartz, les mines de Freiberg, en Saxe, sont toujours restées les éléments principaux de la production et de l'étude.

Cet ouvrage, qui indique la situation de la richesse minérale de l'Europe il y a soixante ans, est surtout intéressant à consulter pour constater quelle a été la marche des exploitations pendant la période écoulée depuis sa publication.

Les filons de Clausthal ont présenté, dès l'origine, des concentrations de minerais sur les points les plus ramifiés de leur allure ; sur ces points furent ouvertes les mines les plus productives, dont quelques-unes, telles que la Caroline, la Dorothée, etc., étaient encore en grande extraction en 1812 et avaient atteint la profondeur de 400 mètres. Depuis cette époque elles ont été approfondies de plus de 200 mètres, et ont toujours soutenu la production, de telle sorte qu'on a dû admettre que les minerais qui, dans le sens de la direction, sont interrompus par des zones stériles considérables, ont beaucoup plus de continuité suivant l'inclinaison. La profondeur actuelle des mines de Clausthal a dépassé sur beaucoup de points 650 mètres.

Les filons du cercle d'Andreasberg, si différents, dans les conditions de leur allure, des filons de Clausthal, nous offrent un exemple non moins frappant de la continuité des minerais en profondeur. En 1812, ces filons étaient explorés jusqu'à la profondeur maximum de 510 mètres ; on y avait trouvé le minerai en rubannements interrompus dans tous les sens, ayant 15 à 30 mètres au plus de continuité. A 660 mètres on a rencontré un des plus beaux rubannements dont on ait conservé la mémoire, et certaines mines ont été approfondies jusqu'à 870 mètres sans qu'il y ait eu de perturbation importante dans les conditions générales de répartition des minerais.

Nous trouvons en Saxe des enseignements non moins précieux que ceux du Hartz. La production s'y est continuée depuis 1815 par l'approfondissement général des mines. Mais, aux environs de Freiberg, le niveau moyen des exploitations, arrivé entre 300 et 400 mètres, étant près d'être exploité sans que les moyens mécaniques dont on disposait pour l'épuisement des eaux et l'extraction des minerais pussent conduire au delà, on dut songer à assurer l'avenir par de nouveaux travaux. Il s'agissait de pratiquer une galerie d'écoulement à partir de la vallée de l'Elbe, galerie comparable à celles qui avaient été exécutées au Hartz et en Hongrie, afin de transporter le niveau moyen des exploitations au-dessous de 600 mètres.

M. de Beust publia à cette occasion un grand travail, où il établit que les divers systèmes de filons, étant recoupés en profondeur, devaient, d'après toutes les données de la théorie et de la pratique, présenter un vaste champ à l'exploitation. La continuité des minerais en profondeur ne fut pas mise en doute, et cette opinion de M. de Beust, appuyée par tous les conseillers des mines, par l'autorité si puissante de M. de Humboldt, enfin, on peut le dire, par l'opinion unanime des praticiens et de toute la population des mines, fut adoptée par le gouvernement saxon. Une confiance absolue accueillit cette décision ; les travaux furent commencés en 1844, et pas une voix ne s'éleva contre cette application hardie des grands principes de l'art. Certes, s'il eût existé parmi les praticiens de la Saxe une opinion contraire à la continuité de la richesse des filons en profondeur, elle n'eût pas manqué de se produire à cette occasion, car nulle part la richesse n'a eu plus de mobilité.

Les mines d'Himmelfurst qui, du temps d'Héron de Villefosse, il y a un demi-siècle, étaient les plus productives, sont aujourd'hui dans une situation très-médiocre, tandis que lesmines d'Himmelfahrt, qui étaient alors peu estimées, sont devenues les plus riches.

Ces variations n'ont pas fait révoquer en doute les produits de l'avenir, parce que, en embrassant un vaste champ d'exploitation, l'expérience a démontré que la production pouvait être soutenue et développée. Le seul fait discuté, fut la substitution des méthodes d'approfondissement employées au Cornwall, c'est

à-dire l'emploi de puissantes machines à vapeur, au percement de la galerie d'écoulement.

Les adversaires de la continuité des minerais en profondeur ont cru trouver un argument dans l'irrégularité de richesse que nous avons signalée dans les filons de Freiberg. Mais, nous le répétons, la continuité des minerais ne doit pas être confondue avec leur régularité.

Un filon présente des passages riches auxquels succèdent des passages pauvres ; en plaidant en faveur de la continuité, nous voulons dire qu'il n'y a aucune raison pour arrêter les travaux devant ces passages pauvres, parce que, bientôt, ils disparaîtront eux-mêmes pour faire place à de plus riches. Les documents fournis par les annales de l'exploitation prouvent qu'un filon qui, jusqu'à la profondeur de 3 à 400 mètres, a présenté des alternatives de richesse et de pauvreté, présentera, suivant toute probabilité, des alternatives de même nature dans les 3 ou 400 mètres qui suivront. C'est seulement en embrassant plusieurs filons dans une même exploitation, qu'on peut se mettre à l'abri de ces variations et régulariser la production

Sans doute, l'irrégularité de l'allure des zones métallifères, même dans les filons cités comme les plus réguliers, les inflexions souvent inattendues que ces zones font dans leur descente vers les foyers d'où elles sont émanées, les variations qu'elles présentent dans leur composition, ont souvent créé des embarras et entravé les travaux d'exploitation ; mais jamais la continuité réelle des zones ne s'est trouvée interrompue de manière à justifier cette assertion que les minerais disparaissent en profondeur.

Les filons de Clausthal peuvent servir à préciser quelques-unes de ces allures des zones métallifères.

Les filons du district de Clausthal et Zellerfeld sont très-inclinés et puissants ; les émanations métallifères paraissent donc y avoir trouvé des évents multipliés et faciles. Cependant, malgré la régularité et la puissance de ces filons, les minerais ne se trouvent pas répartis d'une manière égale suivant la direction. Ils sont concentrés dans des zones assez restreintes que l'on a toujours suivies

et dessinées avec soin, de manière à en obtenir des plans exacts.

Des coupes faites suivant la direction de deux filons principaux sont représentées planches XVIII et XIX.

La planche XVIII est une coupe suivant la direction du filon principal du Burgstadter-Zug (Haupt-Israeler), dont la coupe en travers, représentée figure 48, page 179, indique la composition.

On voit d'après le tracé en direction, que les minerais n'existent pas dans tout le plan du filon. Ils sont concentrés dans des zones montantes de fond, separées par des espaces stériles.

Ces zones irrégulières montent droit au jour, suivant l'inclinaison rapide du filon, en s'épanchant latéralement près de la surface, où probablement les émanations métallifères ont trouvé des voies plus ouvertes et plus faciles, le filon étant moins obstrué par les débris des épontes.

La zone du puits Charlotte est double. Une de ses branches est caractérisée par la galène, comme celle du puits Wilhelm ; l'autre branche, caractérisée par la pyrite cuivreuse, suit une marche plus complexe. Elle est dédoublée par une masse stérile qu'elle a dû contourner, cette masse stérile représentant une obstruction de la fissure.

En voyant les contours sinueux et accidentés de ces zones métallifères et les parties stériles qui les séparent, on comprend toutes les incertitudes que présente l'exploitation d'un filon.

Cette planche précise les allures très-normales des minerais dans le plan du filon. Elle montre que ce filon est croisé par le Kranich vers le puits Eléonore.

Le croisement de ces deux filons contemporains qui appartiennent en réalité au même *zug* ou faisceau, donne naissance à une partie commune indiquée sur la coupe, qui a présenté le phénomène d'un enrichissement considérable.

Ce fait n'est pas isolé, il a été signalé dans plusieurs districts de l'Amérique du Sud, où l'on désigne sous la dénomination de *clou* la partie commune de deux filons contemporains qui se croisent.

Si maintenant nous examinons le tracé des zones métallifères dans le filon Kranich, nous trouverons des différences notables, non dans les conditions générales de la composition, puisque les deux filons sont contemporains, mais dans la marche et l'allure suivies par les zones métallifères.

La planche XIX représente une coupe suivant la direction du filon Kranich qui fait partie du filon principal de Clausthal et Zellerfeld, ainsi qu'il est indiqué par la coupe, figure48, page 179.

Deux zones métallifères d'environ 300 mètres de largeur moyenne suivent des voies inclinées, diagonales dans le plan du filon ; un exploitant de houille dirait des voies sur quartier.

Ces deux zones sont parallèles ; toutes deux sont doubles et symétriquement composées. A la partie inférieure, la caractéristique est la galène avec gangue quartzeuse ; à la partie supérieure, la galène avec gangue spathique.

C'est donc la gangue qui a varié et comme l'explication de cette variation ne peut être fournie par les roches encaissantes qui sont des grauwackes, on est conduit à la chercher dans les phénomènes du remplissage du filon et probablement dans les vapeurs ou sources thermales et minérales qui ont successivement parcouru les parties libres du plan du filon, incrustant d'abord les vides et les minerais de gangues quartzeuses, puis ensuite de spath calcaire.

La plan figuré du filon Kranich embrasse une longueur de 1,200 mètres et une profondeur de 500 mètres, dépassée par les puits Eléonore et Dorothée. Dans ce trajet, les puits et les galeries ont traversé des milieux très-différents, tantôt riches, tantôt stériles ; mais, malgré ces variations, les travaux ont dû conserver la rectitude indiquée, dans l'intérêt de l'économie des divers services de l'exploitation. On voit dès lors combien ces variations de richesse et de composition ont dû paraître multipliées et inexplicables avant qu'on ait pu trouver les lois cependant très-simples de la distribution des minerais dans le plan du filon.

Il est encore à remarquer que les parties les plus riches des deux filons ainsi représentés sont, en même temps les plus puissantes, de telle sorte que les minerais remplissent de véritables cheminées montantes de fond : à cet égard nous rappellerons ce que nous écrivions en 1844, après une étude des filons du Hartz : « Les concentrations de minerais paraissent principalement liées à la forme renflée et divisée des filons et nullement à la nature des roches encaissantes. On ne peut faire à ce sujet que deux hypothèses : ou les matières métallifères ont été amenées de préférence sur les parties les plus dilatées, parce que les sections que présentaient ces parties des filons constituaient des canaux plus

directs et plus libres vers la surface ; ou plutôt encore, ces points, sur lesquels les formes des fractures deviennent compliquées et ondulées, étaient plus aptes par leur disposition à échapper à l'influence de remplissage par les débris des épontes, et, restant ainsi les évents les plus naturels entre l'intérieur et la surface du globe, ils ont offert aux sublimations métallifères un passage plus constant et plus prolongé. »

On retrouve dans beaucoup de contrées l'application de ce principe : que, toutes les fois que des filons traversent des roches de composition et surtout de consistance différentes, les parties les plus métallifères sont celles dont les roches encaissantes présentaient les cassures plus stables et dont les épontes avaient moins de tendance à s'écrouler.

L'exploitation des filons du district de Clausthal et Zellerfeld, assez régulière sous le rapport des produits bruts, a présenté des variations considérables sous le rapport des produits nets. Ceux qui mesurent la richesse des gîtes d'après les bénéfices qu'ils procurent, auraient donc été en droit de dire plus d'une fois depuis un siècle, que cette richesse avait faibli. Il y a environ vingt ans, ils auraient pu manifester des craintes sérieuses sur sa continuité en profondeur.

Ce fut, en effet, en 1851 que l'on commença la grande galerie d'écoulement de Gittelde, qui a près de 17 kilomètres pour arriver aux filons et dont le développement total est de 23 kilomètres. Le percement de cette galerie était devenu une question capitale pour les exploitations de Clausthal ; aussi fut-elle conduite avec une rapidité telle qu'elle a été achevée en 1865.

La galerie de Gittelde a changé complétement la situation des exploitations, qui sont aujourd'hui dans une ère nouvelle de prospérité. Si donc une période d'exploitation facile et rémunératrice a succédé à une période difficile, ce n'est pas aux variations de la richesse des filons en profondeur qu'il faut attribuer ces différences.

Pendant ces diverses périodes d'inquiétudes et de production coûteuse, de sécurité et de production prospère, les filons, considérés dans leur ensemble, sont restés les mêmes. On ne saurait dire qu'ils se sont appauvris, ni qu'ils se sont enrichis en profondeur. Il n'y a donc eu réellement de variations que par la situation

plus ou moins favorable des travaux préparatoires. En résumé, les filons de Clausthal, aujourd'hui attaqués d'une manière générale à la profondeur de 600 mètres, peuvent être cités comme un exemple intéressant de richesse régulière et continue en profondeur.

Le district d'Andreasberg, présente de nouveaux éléments pour étudier non-seulement la continuité des minerais, mais aussi celle des filons eux-mêmes.

Le filon le Samson, d'Andreasberg, n'est connu que sur une longueur de 700 mètres en direction ; or, ce filon est aujourd'hui exploré jusqu'à la profondeur de 870 mètres, sans qu'aucune altération dans son allure ait pu faire présumer une suppression.

Voici donc un exemple d'un filon dont la continuité suivant l'inclinaison dépasse la continuité en direction. Mais le Samson n'est qu'une fissure du sol de 0^{m}60 d'écartement moyen ; si cette petite fissure offre de pareils traits de continuité, quelle hypothèse peut-on faire sur la continuité en profondeur des filons de Clausthal, qui ont 10 mètres de puissance moyenne et 8000 mètres de direction ?

Les environs d'Andreasberg nous offrent plusieurs exemples de filons explorés à des profondeurs peu différentes de leur continuité en direction ; il y en existe d'autres à Joachimsthal ; d'autres dans le Cornwall, où, par exemple, les mines de Dolcoath ont reconnu jusqu'à 700 mètres de profondeur des filons qui n'ont présenté aucune variation d'allure, quoique leur direction ne fût guère que de 800 mètres.

Ainsi, dans les districts classiques de l'Allemagne, la continuité des minerais en profondeur se trouve démontrée par la continuité de la production, malgré les difficultés qui résultent de la diminution progressive du prix des métaux et de l'accroissement des frais d'extraction, par suite de l'approfondissement des mines et l'on peut dire malgré les accidents nombreux qui interrompent les filons.

L'allure des zones métallifères peut, en effet, être interrompue par tous les accidents auxquels les filons sont sujets. Les failles ont été les causes fréquentes de l'abandon des travaux en profondeur. A ces accidents généraux peuvent se joindre les accidents

locaux les plus inattendus. Nous citerons notamment les dislocations et interruptions par l'éruption de roches ignées postérieures, précédemment indiquées dans un filon près d'Andreaskreutzer, au Hartz. Ce filon était exploité par divers niveaux de galeries de direction. Les galeries rencontrèrent d'abord un dyke transversal de roches dioritiques qui coupait le plan du filon et y déterminait une zone stérile. L'obstacle fut franchi; mais bientôt on recoupa une masse dioritique puissante, qui s'épanouissait en profondeur et détermina une telle interruption du minerai que l'exploitation dut être abandonnée.

Les exploitations des districts métallifères du Hartz et de la Saxe ont été maintenues, grâce à la réunion d'un grand nombre de filons, réunion qui permet à ceux dont la richesse s'accroît de soutenir ceux dont la richesse diminue, et grâce à a sage administration qui a toujours maintenu les travaux préparatoires.

Voyons maintenant ce qui s'est passé dans les districts métallifères qui ne jouissent pas de ces avantages et où les filons, abandonnés à leur individualité, ont dû subir toutes les chances résultant de la variabilité de leur composition.

Dans toutes les contrées où les filons se trouvent dans cette condition d'exploitation isolée, les travaux ont été successivement abandonnés et repris : abandonnés lorsque les accidents ou la rencontre des zones pauvres rendirent l'exploitation onéreuse, repris ensuite avec des ressources nouvelles et ramenés à une période de production. Ainsi les mêmes filons ont été et à plusieurs reprises, déclarés riches ou épuisés : épuisés toutes les fois que les exploitants s'étaient découragés; riches, après l'exécution de nouveaux travaux qui avaient permis de franchir les zones désavantageuses.

Tels sont les faits dont nous citerons plusieurs exemples; chaque reprise, après un abandon plus ou moins long, pouvant en réalité être considérée comme un témoignage en faveur de la continuité des minerais.

Le massif de transition du Rhin, qui, dans les provinces du Taunus et du Hunsdruck, contient un grand nombre de filons, présente ce fait remarquable, qu'il y a environ trente ans presque

toutes les exploitations étaient languissantes ou délaissées. Cet abandon était résulté pour ces mines, comme pour un grand nombre de celles qui ont existé en France, de la baisse progressive du prix du plomb, qui avait déterminé une diminution considérable des produits, tandis que les frais d'exploitation devenaient d'autant plus coûteux que les mines s'approfondissaient davantage et que les frais d'exhaure étaient plus grands. Les filons de cuivre eux-mêmes avaient subi le même abandon.

Depuis vingt ans, l'emploi de la blende dans la fabrication du zinc a donné à ces filons un nouvel intérêt, et beaucoup de ceux qui avaient été délaissés et jadis déclarés inexploitables ont été repris avec avantage.

Le succès de cette reprise fut surtout remarquable pour les filons cuprifères auxquels la valeur accordée à la blende ne profitait pas et dont l'abandon ne pouvait être attribué à d'autre cause qu'un appauvrissement réel en profondeur. Mais une fièvre d'entreprises minières s'était déclarée et l'on cherchait toutes les raisons qui pouvaient légitimer des reprises de travaux.

La tradition recommandait surtout, dans la vallée du Rhin, les beaux filons de quartz cuprifère du Virneberg et du Marienberg qui dominent le vallon transversal de Rheinbreitbach.

L'on ne trouvait dans les affleurements de ces filons puissants, que des quartz compactes, dont la nature métallifère était à peine indiquée par la présence de fragments de phosphates ou d'arséniates de cuivre et par quelques débris de cuivre sulfuré qui avait été, suivant toute probabilité, le minerai normal en profondeur. La composition de ces affleurements n'était donc pas de nature à encourager les travaux de reprise, si l'accumulation des déblais en haldes très-étendues et les scories des anciennes fonderies n'avaient justifié la tradition qui signalait les filons comme ayant présenté de grandes richesses. Ces richesses étaient d'ailleurs attestées par l'étendue des anciens travaux dans lesquels on avait pu rentrer; on avait relevé une galerie d'écoulement de plus d'un kilomètre de longueur, au-dessous de laquelle les travaux anciens étaient descendus, et ces premières tentatives avaient été abandonnées par suite des raisons ordinaires qui font déclarer un gîte appauvri et terminé en profondeur. Les minerais étaient très-

mélangés, les eaux gênaient et des accidents avaient limité le champ d'exploitation. L'abandon était complet, lorsqu'en 1840 MM. Rhodius, appuyés des conseils du savant M. de Dechen, rentrèrent dans les travaux à l'aide d'une faible machine à vapeur. Cette machine suffit cependant pour la reprise de l'exploitation pendant une certaine période : les zones métallifères furent retrouvées.

On dut se borner à reprendre les travaux du Virneberg, et plus tard, après une nouvelle période d'abandon pour cause d'appauvrissement, l'ensemble de ces filons pourra encore être repris et donner lieu à une nouvelle période de production.

Les filons d'Holzappel ont été longtemps considérés comme fermés en profondeur, dans une certaine partie de leur course. Une étude plus attentive démontra que ces filons, dont les plans se rapprochent beaucoup des plans de stratification du terrain encaissant, avaient simplement éprouvé un déplacement latéral de 10 à 15 mètres, passant ainsi d'un clivage dans un autre, et que les deux parties étaient ordinairement réunies par une fente de raccordement horizontale, laquelle était serrée de telle sorte qu'elle avait échappé aux premières recherches.

Cet exemple, précédemment décrit, a détruit une des objections principales faites à la continuité,et l'existence des minerais, retrouvés au-dessous de ces changements d'allure, confirme, par un fait de plus, les principes établis par la géologie.

Ainsi, non-seulement des exploitants peuvent être conduits à abandonner un filon par la rencontre de parties moins avantageuses, et même par une disparition momentanée du minerai, mais un simple accident mal interprété peut arrêter les travaux.

L'abandon d'une mine peut encore s'expliquer, dans beaucoup de cas, par l'insuffisance des moyens d'exploitation ; nous en trouverons des exemples même en Cornwall, où l'esprit de recherche et d'exploitation est cependant plus actif et mieux secondé que partout ailleurs.

En Cornwall, les mines s'approfondissent, en effet, d'une manière générale et rapide, par l'application des machines à vapeur sur la plus grande échelle, et les produits vont toujours se développant en raison des travaux. Les capitaines des mines de ce pays

sont sans contredit les plus hardis praticiens ; la stérilité des affleurements ne les effraye pas, et nombre de filons qui ne présentaient dans les parties supérieures que le gossan stérile, ont été trouvés productifs dans des zones de 200 à 400 mètres. On avait d'abord cru qu'à partir de 400 mètres la richesse des filons diminuait, mais aujourd'hui, beaucoup de mines ont atteint avec succès des profondeurs de 500 à 600 mètres.

Les mineurs du Cornwall admettent comme règle générale dans leurs travaux que les parties inférieures aux milieux les plus métallifères, sont toujours celles qui présentent les plus grandes chances pour la continuation des travaux.

La production des filons du Cornwall est plus stable que partout ailleurs, en raison des ressources dont les exploitations disposent. Néanmoins on y trouve encore des exemples de travaux abandonnés par suite d'appauvrissements supposés, repris ensuite avec des moyens plus énergiques et donnant en profondeur les produits les plus avantageux. Parmi ces exemples, il n'en est pas de plus frappant que le filon principal exploité par la compagnie de *Great Devon Consols*. Ce filon, après trente-cinq années d'abandon, fut repris sur la simple pensée que les parties supérieures, ayant été riches, ne pouvaient pas être stériles au-dessous des anciens travaux, et le succès obtenu fut tel, qu'on en extrait par année plusieurs milliers de tonnes de minerais préparés.

Que l'on recueille ainsi tous les documents, toutes les opinions compétentes qui peuvent expliquer l'abandon d'un grand nombre de filons, même dans les pays où l'industrie des mines est très-active, et l'on verra que cet abandon résulte généralement d'accidents et d'appauvrissements qui n'étaient que passagers, ainsi que le démontrent les succès obtenus par les travaux de reprise.

De ces contrées instruites et expérimentées dans l'art d'exploiter, transportons-nous en Algérie, où tout est nouveau, pratique et théorie, et nous y trouverons également les deux méthodes de travail, celle qui prend pour guide la négation des théories, et celle qui procède d'après les principes de continuité admis en Allemagne et en Angleterre.

L'Algérie est un pays de filons, l'un de ceux où l'idée de la continuité des minerais en profondeur présente la plus grande

importance. On y rencontre tantôt des filons de baryte sulfatée et de fer spathique contenant du cuivre gris, comme dans la vallée de Mouzaïa, tantôt des filons à gangue de spath calcaire, ferrifère et magnésien, contenant de la pyrite cuivreuse, comme dans la vallée de l'Oued-Merjah et dans celle de l'Oued-Allelah, près de Tenès. Ces filons, généralement peu puissants et très-ramifiés à la surface, traversent des terrains que l'on considère comme les équivalents de nos terrains crétacés supérieurs.

Les minerais qui viennent affleurer vers la surface, le plus souvent en veines multipliées et ramifiées, présentent-ils des garanties suffisantes de continuité pour qu'on puisse y ouvrir des travaux importants et profonds, sans lesquels l'exploitation ne pourrait être établie d'une manière sérieuse et durable ? Telle est la question que l'on s'est posée, et à laquelle la théorie seule pouvait répondre, dans un pays nouveau où l'on ne trouve aucun précédent d'exploitation, aucune tradition qui puisse servir de guide.

Les travaux exécutés depuis vingt ans peuvent déjà fournir quelques éléments de réponse.

Les mines de Mouzaïa, qui comprenaient les filons les plus puissants, ont été exploitées les premières et d'après les principes de la négation de continuité en profondeur. Si l'on examine les opinions émises par les adversaires de la continuité des minerais, et d'autre part les travaux exécutés sur les filons de Mouzaïa, il semble, en effet, que ces travaux soient l'application exacte des doctrines qui posaient en principe : que l'on doit exploiter le minerai qui se présente, le suivre tant qu'il est visible, mais ne point hasarder de travaux de profondeur dans les roches stériles sur des idées de continuité, idées purement théoriques, disait-on, et qui peuvent devenir dangereuses. Les filons furent attaqués à ciel ouvert ou par des galeries d'écoulement et suivis par des descenderies tant qu'on put les croire avantageux à exploiter.

Cette méthode de travail peut être jugée par ses résultats. Les filons ainsi poursuivis par des travaux maintenus dans les gîtes présentaient des chantiers d'extraction qui s'appauvrirent successivement et furent successivement abandonnés; de telle sorte que les régions supérieures se trouvèrent épuisées sans qu'il y eût rien de préparé pour l'avenir et sans que l'on ait rien appris sur la loi de distribution des minerais en profondeur.

Les faits qui se sont produits sur ce point sont ceux qui ont amené l'abandon d'une multitude de mines, dans toutes les contrées du globe. La continuité des gîtes n'entraîne pas, en effet, la continuité absolue et régulière des minerais ; il n'est pas de partie riche qui ne finisse par s'appauvrir, et, lorsque cette partie riche a été suivie par des travaux irréguliers, le service d'extraction et d'épuisement y devient impossible, de telle sorte que le premier appauvrissement est nécessairement le signal de l'abandon. On arrive ainsi à cribler les affleurements de travaux qui n'ont aucune valeur pour la suite de l'exploitation, et, après avoir exploité les richesses faciles, sans avoir rien préparé pour la profondeur et sans avoir rien appris sur les lois qui peuvent exister dans la distribution des minerais, on n'a plus d'autre alternative que l'abandon ou l'entreprise des travaux par lesquels on aurait dû commencer.

Tel fut l'historique de la première période de l'exploitation de Mouzaïa. Cependant la conviction qui résulta de ces premiers travaux, tout incomplets qu'ils ont été, est que non-seulement les filons se continuent en profondeur, mais que les minerais suivent la même loi de continuité, malgré l'irrégularité apparente de leur distribution.

Sur quelques points, et notamment dans les filons d'Aumale, on a constaté que les ramifications nombreuses que présentent les affleurements sont superficielles et qu'un grand nombre de ces veines d'affleurements, se réunissent en profondeur pour former un filon puissant et régulier.

La disposition convergente de plusieurs filons de la surface, pour se réunir dans la profondeur en un seul, est un fait qui n'est pas nouveau dans l'histoire des mines, mais qui paraît se répéter souvent en Algérie.

Dans les argiles crétacées qu'ils traversent, les filons sont volontiers dispersés et *coureurs ;* en profondeur, et lorsqu'ils traversent un milieu plus solide, les petits filons de la surface se réunissent et forment un seul faisceau dont l'unité est plus avantageuse à l'exploitation.

Les filons de la vallée de Boukhandak, aux environs de Tenès, sont dans ce cas (planche XX).

Ce petit vallon, exploré pour la première fois en 1845, présentait,

sur l'un de ses versants, une grande quantité de veines formées d'un fer spathique impur et décomposé, avec pyrite cuivreuse disséminée dans cette gangue et disposée en plaquettes et rubannements. Un piton, particulièrement sillonné par ces filons coureurs, avait l'apparence d'un véritable stockwerk et l'on ne pouvait dire à l'avance quelle était la forme du gîte. Les travaux qui ont été entrepris ont démontré que la plupart de ces petits filons convergeaient en profondeur vers un filon principal, qui est devenu le siége de l'exploitation, et dans lequel le minerai s'est non-seulement soutenu, mais enrichi.

Des puits furent ensuite foncés de manière à recouper le filon sur son aval-pendage, et les travaux furent conduits d'après ce principe : qu'en donnant une bonne direction aux puits et galeries, on arriverait à suivre les zones de minerais et à les exploiter malgré les irrégularités de leur allure.

Ces travaux ont permis, en effet, de déterminer la loi de distribution des minerais. On a reconnu qu'ils formaient, dans le plan du filon, une zone oblique, ayant une largeur moyenne de 45 mètres et descendant obliquement en suivant à peu près la diagonale entre l'inclinaison et la direction. Cette zone métallifère passe ainsi de la vallée de Boukhandak, dans une vallée voisine où l'on ne voyait aucun affleurement et où cependant un puits fut ouvert, qui trouva en profondeur le filon riche et développé.

Cette disposition des minerais dans le filon de Boukhandak répond aux principales objections dont le principe de continuité en profondeur a été l'objet. La zone riche est oblique, limitée du côté du nord par un étranglement sinueux, et du côté du sud par un accident en forme de rejet au delà duquel le minerai continue, mais sensiblement plus pauvre. Dès lors, des descenderies prises normalement suivant l'inclinaison, après avoir suivi le minerai pendant une certaine longeur, doivent nécessairement le perdre et entrer dans la partie pauvre ; d'où résulterait qu'après le percement de plusieurs de ces descenderies, on aurait pu se croire autorisé à déclarer qu'il n'y avait pas continuité en profondeur et qu'il y avait lieu d'abandonner le filon.

Les bifurcations et dispersions d'un filon en une foule de veines ramifiées, et réticulées dans les roches de la surface, tandis qu'en profondeur on le trouve bien rassemblé dans une fracture nette, sont

des faits très-fréquents. Il y a là une cause d'irrégularité qui doit être attribuée à la nature moins résistante de la part des roches superficielles.

La coupe du filon de Tenès (planche XX) donne l'explication de ce fait par la disposition du filon dans les argiles crétacées ; le minerai se trouvant disséminé dans les filons coureurs, d'une manière encore plus irrégulière qu'en profondeur, il en est résulté nécessairement, au point de vue de l'exploitation, beaucoup de tâtonnements et d'incertitudes sur la valeur du gîte.

Les filons de l'Algérie sont destinés à soulever plus d'une fois les questions de théorie, et déjà les ingénieurs qui se sont consacrés à l'exploitation de ces filons, ont eu occasion d'appliquer les principes de continuité en profondeur, et de donner l'exemple d'une heureuse conviction dans les faits constatés par la pratique de tant de siècles et confirmés par les théories modernes.

En résumé, si l'on se reporte à la description que nous avons précédemment donnée de l'allure des zones métallifères dans les filons du Dillenburg, du Hartz, etc., on se rendra compte des irrégularités que ces zones peuvent présenter, irrégularités qui peuvent rendre l'exploitation d'un filon difficile et intermittente, mais dont les allures peuvent être définies par des travaux persévérants.

Cet examen des formes affectées par les zones métallifères dans les filons, vient donc à l'appui de toutes les autres observations pour démontrer que les filons sont bien réellement des cassures produites dans l'écorce terrestre, cassures plus ou moins écartées, plus ou moins remplies par les débris incohérents des épontes écroulées, dont les parties vides ont servi d'évents aux émanations de l'intérieur du globe vers la surface. Ces parties vides, ainsi que celles qui étaient obstruées par des débris non tassés, ont été progressivement remplies par tous les phénomènes d'émanation et par toutes les réactions qui ont produit les minerais et leur gangues spéciales, telles que le quartz cristallisé, les spaths calcaires, manganésiens ou ferrifères, le spath-fluor et la baryte sulfatée.

Ces cassures n'ont pas toujours été bien nettes et indépendantes du terrain encaissant, comme celles du Hartz, de la Saxe, du Cornwall, etc. Les clivages naturels de l'écorce terrestre, c'est-à-dire

les plans de stratification et de séparation des terrains stratifiés, surtout lorsque ces terrains ont été relevés jusque près de la verticale, ont présenté des phénomènes de distension et d'écartement qui ont donné naissance aux filons de contact dans lesquels la distribution des minerais paraît soumise à des conditions encore plus complexes. De là des problèmes complexes pour le mineur qui recherche les lois d'allure et de continuité en profondeur, mais presque partout, les travaux souterrains, lorsqu'ils ont été suffisamment développés, sont arrivés à résoudre ces problèmes et à trouver les lois de l'allure, lois qui ont servi de guide aux travaux ultérieurs.

DE LA CONTINUITÉ DES MINERAIS DANS LES GITES IRRÉGULIERS.

Parmi les gîtes irréguliers, ceux qui se rapprochent le plus des filons, les filons de contact, présentent déjà beaucoup moins de régularité dans la distribution intérieure des minerais. Les oscillations entre la richesse et la pauvreté sont d'autant plus sensibles, qne l'on passe d'accumulations considérables à des parties complétement stériles. Cependant, en examinant ces gîtes avec soin, on reconnaît que dans beaucoup de cas, les profondeurs du sol ne présentent pas moins de richesses que les parties voisines de la surface.

Le beau filon de Monte-Catini, en Toscane, fut exploité, pendant neuf années, par l'honorable M. Porte, dont l'existence fut si laborieuse dans la reprise des mines de ce pays. Les produits avaient été toujours médiocres, et la confiance de M. Porte était ébranlée, lorsque la compagnie qui lui succéda trouva, à 80 mètres en contre-bas de la première galerie d'écoulement, une des plus belles accumulations de cuivre panaché et pyriteux qu'on puisse citer dans l'histoire des mines. Depuis plus de trente ans, les travaux se poursuivent dans ce filon, sans appauvrissement bien sensible, et les exploitants, guidés par cette continuité, ont entrepris avec confiance des travaux qui doivent assurer un approfondissement considérable.

Les mines de Rocca-Tederighi et plusieurs autres mines de cuivre de la Toscane ont été ouvertes sur des filons placés, comme celui de Monte-Catini, au contact des gabbros et des serpentines. Les minerais s'y trouvent dans des conglomérats de frottement formés aux dépens des serpentines et des roches métamorphiques en contact avec elles ; ils sont disséminés en rognons et blocs de toutes dimensions, en amas isolés et cependant assez rapprochés pour former des zones métallifères dont on a pu constater et prévoir les allures.

Au lieu d'affecter l'allure rubanée des filons-fentes, ces minerais affectent une allure *en chapelet* qui laisse quelquefois dans de grandes incertitudes sur leur continuité. Aussi les travaux assez considérables, ouverts sur les filons de Rocca-Tederighi, du Terricio, de Monte-Castelli et de bien d'autres dont les conditions de gisement étaient analogues à celles du filon de Monte-Catini, ont-ils été successivement abandonnés.

Les filons de contact ne peuvent être aménagés, comme les filons-fentes, pour une production régulière ; leur puissance et leur richesse métallifères sont trop variables, et la production y subit nécessairement des alternatives considérables d'abondance et d'exiguïté. C'est alors que l'on voit les compagnies, qui n'ont pas fait de réserve pendant la prospérité, succomber dès que la mine se trouve réduite à l'extraction des minerais les plus pauvres. Et pourtant, malgré ces nombreux exemples d'appauvrissement et d'abandon, on peut encore bien dire qu'il y a irrégularité dans la distribution des minerais, mais non pas discontinuité absolue.

Les filons subordonnés aux serpentines de la Toscane présentent sous ce rapport des exemples convaincants. Les affleurements sont en général peu riches et peu puissants, de telle sorte que, dans beaucoup de cas, les minerais des profondeurs n'étaient indiqués vers la surface que par des minerais très-pauvres.

Les gîtes de la vallée de la Meuse, dont nous avons précédemment décrit les conditions de gisement et les formes irrégulières, ont souvent été opposés au principe de la continuité des minerais en profondeur. Il importe de les examiner sous ce point de vue en les étudiant avec plus de détail.

De Huy jusqu'à Liége, les calcaires dont les escarpements dominent la rive gauche de la Meuse, sont souvent couronnés par

des terres rouges, disposées sur les cimes en forme de remblais, souvent même versées par-dessus le calcaire jusqu'au bas des escarpements. Ces terres rouges, qui semblent former des bastions sur les plateaux supérieurs, sont les schistes alumineux, exploités et grillés pour la fabrication de l'alun, qui, avant la séparation de la Belgique et de la France, était très-active sur toute cette ligne. C'est à peine si depuis cinquante ans, une végétation jaune et chétive a pu se développer sur ces terres calcinées, et les saillies apparentes des anciennes haldes servent aujourd'hui de repère à une ligne géologique importante ; elles marquent la séparation du terrain anthraxifère et du terrain houiller, formée par les *ampélites* ou schistes alumineux.

Nous avons déjà signalé cette ligne de contact des terrains anthraxifères supérieurs, avec les ampélites alumineux, ligne placée à la base du terrain houiller qui est la plus métallifère de la Belgique.

C'est suivant le plan de contact des deux terrains que se trouvent enclavés les principaux amas ferrifères, zincifères et plombifères qui sont, à partir de Huy : les gîtes Corphalie, de Flône et d'Ampsin, de la Mallieue, du Dos et des Fagnes près Engis, sans compter nombre d'autres qui fournissent des minerais de fer aux fourneaux des environs de Liége.

Ces divers gîtes consistent en amas lenticulaires placés vers le contact assez enchevêtré des schistes alumineux et des calcaires anthraxifères, mais sans suivre exactement le plan de stratification qu'ils coupent quelquefois par un pendage rapide de manière à pénétrer dans les calcaires. On ne saurait mieux les comparer, lorsqu'ils ont été vidés par l'exploitation, qu'à des soupiraux irréguliers montant vers le jour.

Ces gîtes, quelquefois rapprochés, sont sujets à se souder par des bifurcations bizarres et inattendues, à se ramifier par des branches qui tantôt se terminent en traînées décroissantes et tantôt en poches arrondies.

La coupe verticale du gîte de la Mallieue, près Engis (planche XXI) faite suivant le plan de continuité en profondeur, indique assez bien les irrégularités de cette allure. Elle indique surtout un fait encore plus prononcé dans beaucoup d'autres gîtes calaminaires, une évasée vers les affleurements.

Une coupe ainsi placée suivant le plan de continuité en profondeur, ne suffit pas pour définir la forme du gîte ; la figure 61, qui représente une coupe verticale, perpendiculaire à la direction, la complète en précisant ces formes de colonne irrégulières, qui montent obliquement des profondeurs du sol en s'épanouissant

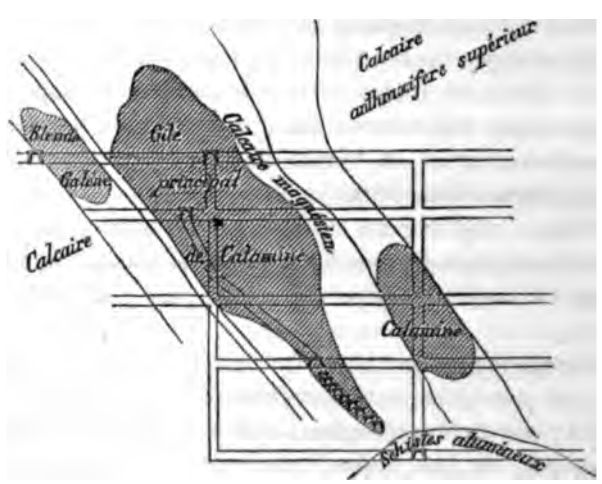


Fig. 61. — Coupe transversale du gîte de la Mallieue.

vers la surface. Cette coupe met en même temps en évidence la position interstratifiée des colonnes métallifères dans les divers plans du système calcaire.

La composition des gîtes de la Meuse est assez homogène, c'est un mélange de zinc carbonaté, d'argile et d'hydroxyde de fer. Ce mélange n'a aucune structure définissable, et les divers minerais y sont tour à tour dominants, sans qu'on ait pu saisir aucune loi de structure. La calamine et l'oxyde de fer s'isolent en blocs et morceaux cariés, cloisonnés et mamelonnés, enchevêtrés irrégulièrement les uns dans les autres, et cimentés par des parties argileuses ou même sablonneuses, comme les meulières dans certains sables des environs de Paris. La calamine se trouve surtout vers les zones extérieures des gîtes, au contact des calcaires, le centre étant ordinairement plus terreux ; enfin, on rencontre souvent, concentrées vers les périmètres et même remplissant des espaces spéciaux, de la blende, de la galène et de la pyrite de fer blanche et radiée.

La blende qui caractérise ces gîtes a une physionomie tout à fait particulière : elle est d'un blanc jaunâtre et tellement compacte, qu'elle ressemble à un calcaire d'un aspect un peu résineux; souvent elle est mamelonnée, et forme des noyaux concentriques avec la galène et la pyrite de fer.

Après l'étude des minéraux qui remplissent les gîtes, celle des roches encaissantes est sans contredit la plus intéressante, car elle peut seule guider l'exploitation dans des terrains si profondément altérés et bouleversés.

Le calcaire, lorsqu'il est enclavé dans les gîtes, où il forme volontiers des blocs isolés, est ordinairement transformé à l'état de dolomie plus ou moins ferrugineuse et zincifère. Cette dolomie est jaunâtre, un peu friable, très-fendillée, sillonnée de petits filets calaminaires. Les calcaires en contact avec les minerais, ont plus ou moins subi les mêmes transformations, et, lorsqu'ils ne sont pas altérés dans leur composition, ils sont saccharoïdes et même clivables, au point de fournir des rhomboèdres d'assez grande dimension. Le plus souvent ils participent des deux caractères, ils sont cristallins et pénétrés de petites veines dolomitiques; en un mot, ils sont dans un état métamorphique très-prononcé.

Le contact des gîtes et du calcaire est rarement lisse comme celui des filons, mais très-enchevêtré et très-inégal; on remarque que les parties calcaires les plus saillantes et les plus engagées dans les minerais sont les plus complétement transformées, tandis que l'altération est d'autant moins prononcée qu'on s'éloigne davantage des contacts.

Les altérations que nous venons de signaler s'appliquent surtout aux roches du toit, les roches du mur ayant le plus souvent des caractères différents. Très-souvent, en effet, le schiste alumineux forme le mur des gîtes. Ce schiste, à l'état normal, est tendre et très-fendillé, mais, au contact des minerais, il devient dur et siliceux; les fissures sont, dans ce cas, pénétrées de minerais qui le transforment en une sorte de brèche. La blende, la galène et la pyrite rassemblées vers le mur des gîtes, empâtent les schistes endurcis et altérés, présentant alors les magmas les plus divers, dont l'apparence éveille tout d'abord l'idée d'une action métamorphique des plus énergiques.

La pénétration des minerais dans les schistes est d'autant plus intéressante à examiner qu'elle exprime souvent, sur une petite échelle, des phénomènes de structure qui, dans certains cas, se reproduisent pour l'ensemble des gîtes. Ainsi le groupement des minerais sulfurés est surtout globuliforme et à zones concentriques ; de telle sorte qu'en brisant un morceau de schiste on trouve quelquefois une section de ces rognons pyriteux, formant une sorte de cocarde irrégulière, à structure bacillaire, et qui semble isolée dans un milieu tout à fait distinct. Mais, en cassant la roche dans un sens perpendiculaire, on reconnaît ordinairement que ces minerais, en apparence isolés, se relient à d'autres masses par des filets et des rameaux de même nature. Ces échantillons démontrent ainsi comment des amas ont pu se former en ne communiquant avec le foyer principal que par des canaux sinueux et de section réduite, et comment des veinules métallifères, étranglées et presque insignifiantes peuvent conduire à des poches remplies de minerais.

On voit, en effet, d'après l'ensemble des caractères que nous venons de décrire, que les gîtes calaminaires ne peuvent être attribués qu'à des phénomènes postérieurs aux terrains encaissants.

Ces phénomènes ont-ils agi de bas en haut, ainsi qu'il paraît d'abord démontré par l'état cristallin et dolomitique des calcaires et le métamorphisme des schistes, aussi bien que par la présence des minerais sulfurés qui accompagnent la calamine et l'hydroxyde de fer ? ou bien ne doit-on pas plutôt les considérer comme des actions de précipitation et de remblais venus d'en haut, qui auraient comblé des vides préexistants, ainsi que semblent l'indiquer l'état non cristallin et non rubané des minerais, et le mélange d'argile et même de sables qui s'isolent en masses considérables ? ou plutôt encore, les phénomènes ne sont-ils pas mixtes, et ne doit-on pas reconnaître dans ces gîtes sinueux l'existence d'antiques solfatares métallifères, dont les émanations souterraines ont dû traverser des matières amenées du jour ?

Le remplissage mixte explique l'état peu cristallin des minerais, car plus les influences du jour ont eu de part au remplissage, moins les minerais sont cristallins. La calamine de la Mallieue est criblée

de géodes cristallines et de mamelons saccharoïdes lorsqu'elle s'isole en masses pures et de grandes dimensions; lorsqu'au contraire elle est très-mélangée d'argiles et de sables, la structure est compacte et cariée. Le même fait peut être observé à Moresnet où les carbonates et silicates sont d'autant plus cristallins qu'ils sont plus isolés des argiles.

L'origine souterraine des minerais tend à démontrer leur continuité en profondeur. Sans doute il existe des étreintes ou étranglements, mais ces étreintes ne peuvent supprimer les artères qui ont amené les substances métallifères et qui établissent la continuité en profondeur.

Si l'on compare l'ensemble des minerais extraits aux environs d'Engis à ceux de la Vieille-Montagne, on y voit des différences assez prononcées. Le gîte de la Vieille-Montagne peut être considéré, non pas comme un amas unique, mais comme un groupe de plusieurs amas, enveloppés dans le calcaire dolomitique et dans les argiles qui forment ce qu'on a appelé le bol calaminaire. Le carbonate de zinc y est accompagné d'une grande quantité de silicates qui constituent la calamine proprement dite ; rarement ces minerais sont mélangés de quelques sulfures métalliques, mais ils sont plus cristallins que les calamines de la Meuse. D'autre part, les calamines de la Meuse ne consistent guère qu'en carbonates ; les silicates ne s'y trouvent pas, mais les sulfures tels que la galène, la blende et la pyrite de fer, y sont toujours en très-grande proportion.

Malgré ces différences, tous ces gîtes appartiennent évidemment aux mêmes phénomènes de formation.

D'après l'origine que nous avons supposée aux gîtes calaminaires, le plan de séparation du terrain houiller et du calcaire anthraxifère peut être considéré comme le clivage le plus facile suivi par les émanations métallifères ; cependant elles n'ont pas constamment suivi ce plan, et quelques gîtes se trouvent soit dans le système supérieur du calcaire carbonifère, entre le calcaire bleu et le calcaire magnésien, soit dans les systèmes inférieurs, entre les couches schisteuses et calcaires.

Mais, si les gîtes appartiennent à des phénomènes postérieurs, qui ont ainsi suivi des plans de clivage des terrains superposés, ils doivent être liés à des perturbations locales dans la stratification

puisqu'en réalité ils n'existent pas d'une manière continue et régulière suivant les clivages des couches. De pareilles masses ne peuvent, en effet, avoir été intercalées sans qu'il y ait eu des mouvements antérieurs ou contemporains qui ont en quelque sorte préparé leur place et leur gisement. Ici vient se placer une série d'observations des plus intéressantes, dues aux recherches de M. Victor Simon.

Les couches du système anthraxifère et du système houiller sur la rive gauche de la Meuse, sont concordantes et généralement inclinées de 50 à 70 degrés. Si donc on projette sur un plan les affleurements de direction de ces couches, on obtient une série de lignes parallèles qui, de Huy jusqu'à Chockier, suivent précisément la direction de la vallée.

Parmi ces lignes, celle qui indique le contact des calcaires supérieurs et du système houiller se maintient sur la rive gauche, à une distance de 3 à 600 mètres du fleuve; elle est d'autant plus facile à saisir, qu'elle se trouve signalée, ainsi que nous l'avons dit, par les nombreuses haldes des anciennes exploitations d'alun. Or, si l'on vient à la tracer rigoureusement, on remarque que cette ligne, régulière dans son allure générale, subit en quelques points des inflexions brusques dont la convexité est tournée vers la Meuse, c'est-à-dire vers les couches du terrain anthraxifère : ces dépressions marquées sur un petit parcours, figure 47, page 161, indiquent précisément les emplacements occupés par les gîtes.

Ainsi considéré, le phénomène de la formation des gîtes calaminaires s'agrandit et prend tout l'intérêt d'une loi géologique. L'action qui a soulevé et renversé tout ce système de couches a également déterminé des points d'affaissement où le système calcareux a fléchi et laissé des vides intérieurs, le système houiller n'ayant suivi que d'une manière incomplète les mêmes inflexions. Ces vides ont dû être immédiatement remplis par les influences mixtes que nous avons précédemment signalées ; les émanations métallifères sont la suite naturelle des phénomènes qui ont déterminé cette grande révolution dynamique.

L'observation de M. Simon est la preuve la plus concluante de l'origine souterraine des gîtes calaminaires, et par conséquent de certaines conditions de continuité en profondeur. Sous le rapport géologique, elle classe de la manière la plus heureuse, dans la théo-

rie générale des gîtes métallifères, ces amas irréguliers dont les caractères spéciaux avaient pu paraître des anomalies.

Ajoutons une autre observation de M. Lesoinne, et l'on verra comment, dans une exploitation, tous les faits sont solidaires de la théorie. « Il est à remarquer, dit-il, qu'on a rencontré des eaux aussitôt qu'on a atteint les gîtes : cette présence constante des eaux dans les dépôts métallifères de ce genre est générale pour toute la province et très-digne d'attention. A Corphalie, par exemple, si l'on aperçoit dans les travaux quelque suintement venant du calcaire, on le suit par une galerie ; si le suintement se bifurque, on établit deux galeries ; et presque toujours on est conduit ainsi à des cavités remplies de calamine. »

Cette remarque sur le régime des eaux souterraines n'est-elle pas la conséquence naturelle de celle de M. Simon, puisque les eaux suivent toujours les fractures principales du sol dans lequel elles circulent.

Les caractères observés dans les gîtes des environs d'Engis se retrouvent dans tous ceux de la vallée de la Meuse. Ainsi les gîtes de Corphalie sont dans des conditions géologiques tout à fait analogues à celles des gîtes précédemment décrits : l'exploitation a porté sur un amas principal, défini comme une masse cunéiforme dont la section horizontale était lenticulaire, et dont les plus grandes dimensions étaient vers la surface. Une pareille forme pourrait certainement éveiller l'idée d'un remplissage par le haut, si les minerais n'avaient été précisément remarquables par la proportion de blende et de galène qu'ils renfermaient, et si les altérations des roches en contact n'eussent été tellement prononcées qu'elles suffiraient seules pour accuser l'action souterraine. Aussi, malgré les circonstances qui avaient fait considérer le gîte comme épuisé lorsqu'on fut arrivé à la partie inférieure de l'amas, les recherches pour en trouver les prolongements ont réussi à soutenir l'exploitation.

Entre Liége et Aix-la-Chapelle, la Meuse quitte la ligne géologique du contact des calcaires carbonifères avec le terrain houiller. Les gîtes sortent donc de cette vallée et se retrouvent d'abord dans la fracture marquée par la Vesdre. Les gîtes de Prayon et de Verviers attestent la continuité de la ligne métallifère et viennent

encore ajouter quelques traits nouveaux à ceux que nous venons d'indiquer.

La forme du gîte de Verviers peut être considérée comme celle d'un canal à section grossièrement circulaire ou elliptique, dont les dimensions se développent à mesure que les travaux des niveaux actuels descendent en profondeur. La planche XXII, qui en représente la coupe verticale, montre à la fois cette disposition et la manière dont ces travaux ont été conduits.

Une galerie d'écoulement, prise vers le fond de la vallée, au

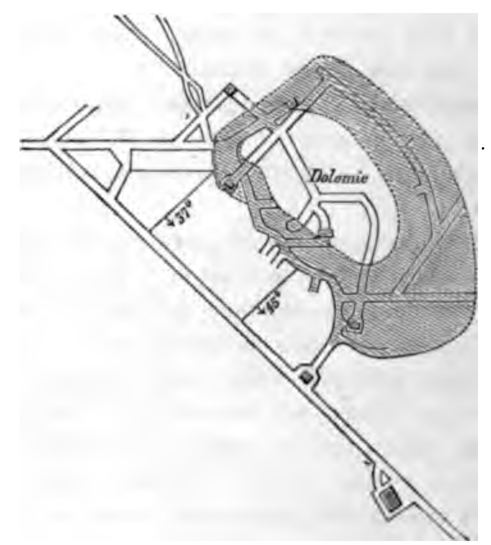


Fig. 62. — Coupe horizontale du gîte de Verviers.

niveau des rues de Verviers, a dégagé environ 35 mètres de hauteur du gîte, que l'on a trouvé sillonné par les travaux des anciens qui avaient enlevé la galène dont la calamine est pénétrée : vers la partie supérieure, cette calamine semble s'épancher à la surface et forme une nappe horizontale, de sorte que l'affleurement occupe un espace d'environ un demi-hectare, espace qui semble d'autant plus grand qu'un resserrement prononcé succède à cet épanchement superficiel.

Un premier fait résulte de la structure de ce gîte : c'est que la portion qui se trouve ainsi dénudée à la surface devait être la base d'un renflement considérable ; que ce renflement communiquait

par une partie étranglée à la partie souterraine du gîte, qui, à la profondeur actuellement connue au-dessous de la galerie d'écoulement, a toujours continué à suivre une allure croissante. Le centre est occupé par un noyau dolomitique qui se dilate aussi en profondeur et donne à la section horizontale du minerai l'apparence d'une zone annulaire, ainsi que l'indique la coupe horizontale fig. 62 faite au niveau de la galerie d'écoulement.

La dolomie qui forme ce noyau central est jaune, très-fendillée, quelquefois grenue; elle contient plusieurs centièmes de zinc, et souvent est pénétrée de veines et de petits filons réticulés de calamine ou d'oxyde de fer, de manière à présenter l'apparence d'un stocwerk.

La présence de ces blocs dolomitiques dans les gîtes calaminaires soulève naturellement beaucoup de réflexions sur les détails du remplissage. Lorsqu'ils sont de petites dimensions, on est conduit à les considérer comme simplement détachés du toit; mais ici, de même qu'à Moresnet, c'est une irrégularité de l'hiatus que le sol a dû présenter et qui a été remplie par les émanations métallifères. Le contact du minerai avec le calcaire est d'ailleurs très-inégal; outre une multitude d'anfractuosités de détail, il présente de nombreuses ramifications, formant des filons déserteurs qui ne tardent pas à s'amoindrir en s'éloignant de la masse; on les abandonne généralement après quelques mètres de poursuite.

La composition du gîte de Verviers a présenté en profondeur, des transformations considérables. Toute la partie supérieure était remplie de calamine ferrugineuse plus ou moins imprégnée de galène; cette galène avait déjà une assez grande importance, puisque les travaux des anciens ont été conduits jusqu'à 50 mètres de la surface, quoique le gîte fût très-aquifère; mais, à mesure que l'on est descendu dans la profondeur, la proportion de la galène a augmenté, tandis que celle de la calamine diminuait. La mine de zinc est devenue une mine de plomb.

Cette galène est d'ailleurs assez remarquable par diverses structures. Tantôt elle est en gros noyaux sphéroïdaux, radiés du centre à la circonférence et noyés dans une argile ferrugineuse et calaminaire; d'autres fois elle est disséminée en rognons, dont la surface présente une multitude d'octaèdres; enfin on la trouve

constituant un sable grossier, dont les grains octaédriques ou arrondis sont empâtés dans l'argile ordinaire du gîte. Dans les travaux du fond, elle est mélangée d'une proportion notable de blende, et l'hydroxyde de fer qui accompagnait la calamine dans les parties supérieures se transforme aussi en pyrite blanche concrétionnée.

Ainsi le zinc carbonaté et l'hydroxyde de fer se trouvent à un certain niveau presque complétement remplacés par des minerais sulfurés. L'exploration à une plus grande profondeur prend donc ici un grand intérêt non-seulement sous le rapport des conditions de l'exploitation, mais aussi sous le rapport de l'instruction pratique qui peut en résulter pour beaucoup d'autres mines du pays. Il est probable qu'en descendant en profondeur, la proportion des sulfures augmentera toujours dans ces gîtes, et il doit résulter de cette transformation que certaines mines, notamment parmi celles qui fournissent les minerais de fer, deviendront inexploitables.

Beaucoup de minerais de fer exploités le long de la Meuse appartiennent, en effet, soit à des amas irréguliers, soit à des filons dont l'origine paraît se confondre avec celle des gîtes calaminaires, et l'on peut dire que c'est seulement par exception, que les minerais de zinc ou de plomb sont devenus dominants. La nature généralement calaminaire de ces minerais de fer se manifeste par la condensation des cadmies d'oxyde de zinc vers les gueulards des hauts fourneaux, et l'on trouve aujourd'hui, sur un grand nombre de points où il existait des fourneaux, des accumulations de ces cadmies sous forme de plaques compactes ou cellulaires. Ces cadmies attestent la nature calaminaire des minerais de fer exploités. Quelques-uns de ces minerais, comme ceux qu'on extrait aux environs d'Angleur, donnent à l'analyse jusqu'à 5 et 10 pour 100 de zinc et établissent la liaison minéralogique des minerais de fer avec les calamines.

Tous ces gîtes affectent des formes analogues à celles qui sont définies par les planches XXI et XXII, l'une présentant l'exemple d'une allure dont la puissance se développe en profondeur, tandis que dans l'autre il y a diminution rapide de la section.

Si nous jetons un coup d'œil sur l'ensemble du phénomène qui a donné naissance à la formation de ces minerais de fer, plomb et

zinc, nous reconnaîtrons qu'une action postérieure aux dépôts houillers a soulevé ces dépôts ainsi que tous ceux des formations anthraxifère et ardoisière du pays, en donnant aux couches les plus fortes inclinaisons, et les comprimant de manière à les renverser et à les ployer suivant les dessins si connus que nous fournissent les coupes des houillères ; que cette action de soulèvement et de compression a déterminé les rides est-ouest dont la vallée de la Meuse est une des expressions les plus marquées, et que si les roches soulevantes, qui accompagnent ordinairement les perturbations de cette nature, n'ont pu se faire jour jusqu'à la surface du sol, la force expansive s'est cependant manifestée, après les phénomènes dynamiques, par des actions métamorphiques et des intrusions métallifères.

Ces actions se sont principalement exercées suivant les clivages les plus naturels des couches soulevées, et leur siége fut surtout le plan de séparation des calcaires carbonifères et de la formation houillère. Ainsi les schistes qui forment la base du système houiller ont été transformés en ampélites alumineux, c'est-à-dire désagrégés et pénétrés de pyrites. Outre cette altération de schistes produite sur une grande échelle, il en est une, plus locale, qui ne se rencontre qu'au contact presque immédiat des gîtes ferrifères et calaminaires, c'est leur transformation en une espèce de schistes siliceux ou grès, dont la couleur intérieure reste noire, tandis que les surfaces des fendillements dont la roche est sillonnée en tous sens sont jaunâtres et ferrugineux. Cette roche fut d'abord considérée comme formant une couche particulière qui se trouvait à la base de la formation, mais l'observation conduit à conclure qu'elle n'existe réellement que là où il y a des minerais, et qu'elle fait en quelque sorte partie des gîtes eux-mêmes.

L'altération métamorphique des massifs calcaires enclavés dans les calamines, massifs qui sont complétement transformés en dolomies ferrifères et zincifères, tandis qu'au simple contact cette transformation est moins prononcée et qu'elle diminue en raison directe de l'éloignement des minerais, est un fait remarquable dans tous ces gîtes. C'est une observation de plus à ajouter à la théorie de la dolomisation de M. de Buch, théorie tant de fois attaquée et que les faits viennent sans cesse confirmer.

Un second effet de ces actions soulevantes et métamorphiques fut

l'établissement, suivant le plan de contact des schistes avec les calcaires, d'évents métallifères de formes irrégulières, tantôt consistant en soupiraux longs et sinueux, tantôt ayant le caractère de véritables fractures à filons. Ces évents furent remplis par des hydroxydes de fer, des carbonates et silicates de zinc, des blendes compactes et des galènes, minerais auxquels se mélangèrent des sables et des argiles dont les éléments sont quelquefois empruntés aux roches voisines, et d'autres fois semblent d'une provenance éloignée et épurés par une longue action sédimentaire. La ligne principale, suivie par ces intrusions métallifères, s'étend d'une manière continue de Huy à Ampsin, Amay, Flône, Engis et Chockier; elle reparaît d'une manière interrompue par les gîtes d'Angleur, Prayon, Verviers, Moresnet, Membach; elle entre en Prusse par les gîtes d'Herrenberg, de Diepenlinchen, de Breniegerberg, etc., aux environs de Stolberg; elle disparaît près de Duren, sous les terrains d'alluvion du Rhin, pour reparaître de l'autre côté avec les calcaires carbonifères d'Elberfeld.

Parmi les gîtes qui de distance en distance jalonnent cette longue traînée métallifère, il en est deux principaux dont l'étude peut fournir des éléments à la solution du problème de la continuité en profondeur. Ce sont les gîtes de Moresnet et de Diepenlinchen, célèbres tous deux : le premier par la grande masse de calamine qu'il a fournie aux usines de la Vieille-Montagne, le second par une production en minerais de plomb qui atteignait, il y a quelques années, des chiffres considérables.

Le gîte de Moresnet est celui qui peut fournir les arguments les plus spécieux contre la continuité des minerais. On y trouve en effet l'exagération d'une circonstance que nous avons déjà signalée dans les gîtes de la Meuse : une dilatation excessive vers la surface et une grande accumulation des plus beaux minerais sur une étendue de plus de dix hectares, surface qui a diminué en profondeur par des étreintes rapides, de manière à faire douter de l'origine souterraine des minerais.

Ce gîte, enclavé dans les calcaires, présente vers le centre un noyau dolomitique de plus de 100 mètres de diamètre, qui sépare les minerais en deux groupes et se dilate en profondeur de manière à réduire progressivement leur section; de telle sorte que la cala-

mine, circonscrite de tous côtés par les inclinaisons rapides des calcaires et encaissée par des argiles ferrugineuses, semble avoir été déposée dans un bassin superficiel, complétement fermé en profondeur.

Telle fut l'hypothèse admise sur le gîte de Moresnet, jusqu'à ce que l'étude de tous les gîtes de même nature eût démontré que ces minerais si puissants à la surface devaient se continuer par des veines plus ou moins rétrécies. Ces veines sont les cheminées adductrices qui ont accumulé les minerais dans un évasement superficiel, où les émanations de l'intérieur se sont mélangées à des produits sédimentaires. Les travaux exécutés semblent en effet indiquer une véritable prolongation de minerais au delà des limites prévues, mais toujours est-il que l'exploitation souterraine se trouvant en profondeur, dans des conditions à la fois bien plus difficiles et moins fructueuses que l'exploitation à ciel ouvert a dû perdre son importance première.

Si l'on compare l'allure du gîte de Moresnet à celle du gîte de Verviers, on trouvera entre eux des analogies et des différences considérables. Le gîte de Verviers formait, à la surface, une sorte de bassin de plus d'un hectare d'étendue ; à 25 mètres de profondeur sa section était réduite à 130 mètres carrés, et ce n'est qu'en profondeur qu'il reprend une section plus considérable (planche XXII) ; il peut arriver que plus bas il soit de nouveau réduit à de plus faibles dimensions. Le noyau dolomitique, au centre de ce gîte, donne aux minerais exploitables la forme d'une zone annulaire, sans que l'intervention de ce noyau empêche le développement des minerais, de telle sorte que cette allure détruit les doutes que celle du gîte de Moresnet peut inspirer.

Ces espèces de cratères superficiels, dans lesquels les produits métallifères des émanations souterraines se sont mélangés à ceux des actions sédimentaires de la surface, ne sont pas d'ailleurs des faits exceptionnels. Il est probable qu'on en pourrait multiplier les exemples si l'on avait des renseignements exacts sur beaucoup de gîtes qu'on signale comme superficiels et terminés en coins dans la profondeur.

Quelques gîtes de l'Amérique paraissent s'être présentés dans des conditions tout à fait analogues à celles que nous venons d'indiquer. Les parties supérieures étaient puissantes, évasées

en forme de bassin superficiel; on y trouvait du cuivre natif et oxydulé, des hydrosilicates et des carbonates, tandis qu'en profondeur la pyrite cuivreuse, devenue à peu près le seul minerai, remplissait des canaux étranglés et sinueux.

Si ces faits n'altèrent pas le principe de la continuité en profondeur, il n'en est pas moins vrai que les formes irrégulières, rétrécies et difficiles à suivre, peuvent, dans les gîtes irréguliers, transformer les conditions de l'exploitation et les rendre désavantageuses. Il est également vrai que, dans certains cas, des gîtes semblables, déclarés finis en profondeur, ont pu ensuite être repris avec succès; tels sont, dans la contrée qui nous occupe, les gîtes de Corphalie près de Huy et ceux de Diepenlinchen près de Stolberg, composés d'amas lenticulaires de plomb carbonaté, calamine et galène.

Le gîte de Diepenlinchen est situé dans la vallée de Mausbach, près de Stolberg. Cette vallée dont le fond suit des alternances redressées et déprimées de grauwackes, est encaissée par les relèvements parallèles du calcaire carbonifère, s'appuyant au nord sur des schistes anthraxifères qui forment les coteaux de Diepenlinchen, et, vers le sud, sur des grauwackes inférieures dont les couches fortement redressées, forment les coteaux de Brenieg.

Les plateaux et les versants de Diepenlinchen et de Brenieg sont couverts de déblais et présentent une multitude de dépressions qui résultent évidemment d'anciennes exploitations. Dans les haldes principales, on trouve des débris d'oxydes de fer, de calamine, de galène et de plomb carbonaté, et sur ces indices des travaux considérables furent entrepris pour retrouver en profondeur les gîtes autrefois exploités. Les affleurements avaient été tellement perforés, qu'on n'avait que des idées très-vagues sur la composition de ces gîtes et sur leur forme; les travaux eurent cependant un succès complet, et à Diepenlinchen ils ont parcouru, sur une distance de 2,000 mètres, un filon situé au contact des calcaires et des schistes.

Au contact du filon, le calcaire est généralement très-dolomitique, de telle sorte que le terrain présente trois zones distinctes et rapprochées: les schistes, les dolomies et les calcaires. Le filon, placé entre les schistes et les dolomies, a une puissance ordinaire-

ment comprise entre 1 et 5 mètres, mais souvent il pénètre dans des cavités dolomitiques de manière à occuper une largeur beaucoup plus considérable et présente alors des caractères de gîte en amas, analogues à ceux que nous avons cités pour les gîtes calaminaires de la Meuse. Des sables et des argiles, évidemment venus des parties supérieures, se mélangent aux minerais et forment des magmas dont l'origine semble tout à fait différente de celle des autres gîtes métallifères.

Les minerais de Diepenlinchen présentaient des différences notables avec ceux des filons proprement dits. La gangue est principalement formée d'argile ferrugineuse, dans laquelle les minerais étaient dispersés en blocs, veines et rognons de toutes dimensions. Les minerais principaux étaient le plomb carbonaté, compacte et terreux, et la calamine compacte ou cariée ; la galène ne se rencontrait qu'accidentellement dans le filon, mais elle excluait presque complétement le carbonate dans les gîtes latéraux qui pénètrent la dolomie. Tout ce remplissage était peu cristallin, peu rubané, et par conséquent différait sensiblement du remplissage des filons réguliers.

Ce filon devait être une espèce de solfatare métallifère établie dans un clivage naturel du sol et par conséquent dans une véritable cassure concordante avec la stratification. Les actions qui ont rempli les vides souvent considérables que présentait la cassure, durent se prolonger pendant une période fort longue, ce dont on trouve la preuve dans la nature même des minerais.

En effet, l'ensemble des minerais de plomb de Diepenlinchen est argentifère, mais la proportion de l'argent y est extrêmement variable. Dans un même amas métallifère, le plomb carbonaté était complétement privé d'argent et contenait des rognons de galène dans lesquels la proportion d'argent s'élevait à deux, trois et jusqu'à cinq millièmes. Pour qu'un pareil départ de l'argent ait pu s'effectuer entre le carbonate et le sulfure de plomb, il faut nécessairement admettre que les affinités en vertu desquelles il s'est produit ont duré un temps considérable. La disposition de ces minerais en rognons isolés dans les argiles ferrugineuses et jusque dans la dolomie, indique d'ailleurs une action très-lente, pendant laquelle tous les phénomènes de liquation et d'agglomération orbiculaires ont pu se produire.

Les détails du gisement des minerais à Diepenlinchen se retrouvent dans un grand nombre d'autres gîtes de la même contrée. Les calamines et galènes d'Herrenberg; les plombs carbonatés et sulfurés mélangés de calamines de Busbach ; les galènes et calamines de Brenieg, reproduisaient une partie des caractères déjà signalés.

Si donc on joint aux faits qui résultent de l'étude de ces gîtes ceux que nous avons précédemment cités, il y a peu de motifs pour repousser le principe de la continuité des minerais en profondeur, même dans les gîtes irréguliers.

Sans doute, les variations si prononcées dans la puissance et les formes de ces gîtes donnent lieu à des problèmes difficiles à résoudre, et surtout à de grandes variations dans les produits; mais ces problèmes et ces variations sont des caractères spéciaux à la classe des gîtes irréguliers, dont l'exploitation doit subir les conséquences, mais qui cependant ne permettent pas de contester les principes établis par l'étude des filons.

Il nous reste à examiner avec détail un ordre de faits que nous avons seulement indiqué dans les descriptions qui précèdent, et qui exerce sur la production des mines une influence au moins aussi grande que ceux qui sont relatifs à la forme des gîtes. Ce sont les transformations que subissent fréquemment les minerais, depuis leurs affleurements jusqu'aux plus bas niveaux atteints aujourd'hui par les exploitations.

VARIATIONS QUE SUBIT LA COMPOSITION DES MINERAIS EN PROFONDEUR.

Les faits précédemment indiqués tendent à démontrer que, dans la plupart des cas où des mines ont été déclarées épuisées en profondeur, ce prétendu épuisement était dû, soit à une mauvaise interprétation d'accidents passagers ou à des recherches insuffisantes, soit aux difficultés croissantes que présentent les travaux souterrains à mesure qu'ils s'approfondissent ; nous pouvons ajouter qu'on peut l'attribuer encore aux changements fréquents qui surviennent dans la nature minéralogique des minerais.

Beaucoup de gîtes métallifères, réguliers ou irréguliers, présentent, en effet, dans leurs parties supérieures, une composition qui se modifie en profondeur. Ces variations, qui portent à la fois sur les gangues et les minerais, ont été attribuées, soit à des altérations spontanées, soit à des transports moléculaires postérieurs à leur formation.

Ainsi, dans tous les pays de mines, on connaît le fait si fréquent de l'altération des affleurements, auxquels les Allemands ont donné le nom de *chapeaux de fer*, et que, dans le Cornwall, on désigne sous la dénomination de *gossan*. Le trait le plus saillant de cette altération est la coloration de la masse par les couleurs ocreuses dues à la décomposition des pyrites, et un ramollissement général du gîte, dont les gangues argileuses sont *pourries*, suivant l'expression des mineurs, et dont les gangues quartzeuses sont *cariées* et caverneuses.

Ces modifications n'atteignent pas seulement les affleurements; elles s'étendent à des profondeurs variables, qui souvent dépassent 50 mètres, et vont même, dans certains cas, au delà de 100 mètres. Dans beaucoup de gîtes on a constaté cette altération des gangues depuis les affleurements jusqu'au niveau des thalwegs les plus rapprochés.

Dans ces régions supérieures des gîtes, les minerais caractéristiques se présentent souvent dans des conditions toutes particulières. Certains filons plombifères, par exemple, dont la galène est le minerai normal en profondeur, contiennent principalement, dans toute la région supérieure, le carbonate et le phosphate de plomb, et quelquefois le sulfate, l'arséniate et le chlorure. L'argent, si intimement mélangé à la galène, s'isole au milieu des minerais oxydés ou carbonatés à l'état d'argent natif en filaments, rameaux et dendrites. La plupart des filons argentifères de l'Amérique du Sud, nous disait M. Humboldt dans un entretien sur le sujet de ce chapitre, ont présenté dans leur partie supérieure cette région décomposée, si favorable à l'exploitation. On y trouvait l'argent natif, souvent filiforme, devenu une rareté, mais alors très-abondant et constituant une sorte de couverture ou perruque sur les gîtes sulfurés. Nous citons ici les expressions familières de M. de Humbolt parce qu'elles s'appliquent à des faits qu'il avait

vus, qui sont aujourd'hui oubliés et qu'il n'est plus possible de constater.

Dans d'autres gîtes argentifères, les chlorures et les bromures se sont trouvés presque exclusivement dans les parties supérieures des gîtes, c'est-à-dire dans la région des gangues oxydées dites *pacos* ou *colorados*, gangues qui représentent exactement le *gossan* des Anglais.

Le zinc, qui se trouve à l'état de carbonate ou de silicate dans les gîtes calaminaires superficiels, a une tendance à se présenter à l'état de blende en profondeur.

Les gîtes cuprifères sont ceux qui offrent les différences les plus complexes et les plus saillantes. Ainsi, tandis que les minerais sulfurés, panachés ou pyriteux, constituent en profondeur le minerai normal, la région supérieure contient du cuivre natif, des oxydes terreux ou cristallins, des hydrosilicates, des hydrocarbonates, des phosphates, des arséniates, des chlorures; minéraux remarquables par leurs belles couleurs, et qui donnent alors aux gîtes une physionomie toute particulière.

Le passage de ces minerais des régions supérieures aux sulfures qui les excluent en profondeur ne se fait pas d'une manière brusque. Il est graduel et il existe toujours une zone de caractères mixtes, dans laquelle les minerais sont mélangés.

Un autre caractère concorde avec ces transformations fréquentes de la composition des minerais en profondeur, c'est la modification de la structure.

Dans les filons, la structure rubanée, c'est-à-dire en zones symétriques, parallèles au toit et au mur, est un fait général; or ce rubanement n'existe plus dans les parties altérées des régions supérieures, qui ont une structure toujours massive et fragmentaire sans régularité. Dans les gîtes irréguliers et dans les filons qui ne sont pas sujets au rubanement, bien que la transformation de la structure en profondeur soit difficile à saisir, on la remarque cependant, parce que les éléments sulfurés et cristallins de la profondeur sont presque toujours coordonnés à un système dominant de structure. Ces sulfures métallifères se trouvent soit en zones épaisses, soit en veinules, soit en druses, soit en rognons, soit en masses lenticulaires et arrondies; tandis que dans les parties modi-

fiées supérieures, les minerais et les gangues ne présentent que des masses confuses irrégulières.

Tels sont les caractères généraux de variations dont on trouve des exemples dans tous les districts métallifères. Le Cornwall, les Vosges, la Belgique, les provinces Rhénanes, la Saxe, l'Oural, etc., contiennent des types nombreux de ces gîtes modifiés.

Ayant eu occasion d'étudier un assez grand nombre de ces gîtes variables, nous sommes arrivé à douter que les différences de composition des parties supérieures fussent réellement dues à des altérations postérieures ; nous pensons que, *dans la plupart des cas, ces différences résultent de faits contemporains de la génération des gîtes.*

Si les décompositions provoquées par les agents atmosphériques, par les eaux souterraines qui circulent la plupart du temps dans les filons, ou encore par la grande conductibilité électrique des filons, étaient l'origine de l'état d'altération que nous avons signalé, cet état serait aussi général que les causes qui l'auraient déterminé. Or il n'en est rien, et nous pouvons citer des districts entiers où ces décompositions n'ont pas atteint les sulfures métalliques. Dans les districts où les régions supérieures de certains gîtes paraissent ainsi très-modifiées, un grand nombre d'autres ne le sont pas et présentent immédiatement les sulfures métalliques. Nous trouvons même cette divergence de caractères dans des filons qui sont parallèles, juxtaposés, et soumis à des conditions physiques absolument identiques.

L'Atlas, en Algérie, contient un grand nombre de filons dont les minerais sont le cuivre pyriteux ou le cuivre gris arsénifère et antimonifère. A Mouzaïa, où les affleurements de ces filons formaient des murailles saillantes, c'est à peine si les décompositions spontanées avaient pu atteindre les parties déchaussées ; les premiers coups de marteau suffisaient pour y découvrir des parties saines et métalliques. Dans la vallée de l'Oued Boukandak, près Tenès, ainsi que dans celle de l'Oued Tafilès, les filons qui contiennent la pyrite cuivreuse, la présentent immédiatement, sans décomposition, avec un éclat que le passage des eaux suffit pour aviver dans le fond des vallées. Le même fait s'est présenté dans les filons de la Chiffa et de l'Oued-el-Kebir, de telle sorte que l'on est encore à trouver dans ce vaste pays un seul filon qui ait subi les

altérations profondes dont certains filons cuivreux de l'Allemagne nous présentent l'exemple.

Parmi les filons plombifères altérés dont la région supérieure est principalement caractérisée par des phosphates et des arséniates de plomb, tandis que la galène domine en profondeur, nous citerons un des filons du faisceau de Silbach, près d'Holzappel, dans le Nassau. Ce filon contient encore une proportion notable de phosphate à 50 mètres du jour, et dans sa partie supérieure le phosphate de plomb était le minerai principal, tandis que tous les autres filons du même faisceau étaient exclusivement caractérisés par la galène. Comment une altération si profonde n'eût-elle attaqué qu'un seul filon sur quatre, dont les conditions physiques, l'exposition aux agents atmosphériques et les conditions de gisement sont absolument identiques? Si l'on vient à comparer les gangues du filon altéré avec celles des filons qui ne le sont pas, on trouve que le quartz, compacte dans ces derniers, est carié et caverneux dans l'autre ; que les roches des épontes qui, dans les filons sains, n'ont rien de particulier, sont pénétrés de phosphate vert et jaune, cristallin ou terreux.

En voyant les gangues quartzeuses, dures, compactes, bien séparées du minerai qui caractérisent l'ensemble des filons, devenues dans un seul, cariées, poreuses et pénétrées par d'autres principes métallifères, on ne peut s'empêcher de conclure que des actions atmosphériques assez énergiques pour produire de pareilles altérations eussent attaqué tous les filons appartenant au même faisceau. Il est plus rationnel de supposer que ces différences de composition sont dues à des actions contemporaines des émanations métallifères, qui seules ont pu agir avec autant de force, et par exception sur un seul filon.

Ces anomalies, dont nous pourrions multiplier les citations, doivent nécessairement jeter quelques incertitudes sur l'hypothèse des altérations postérieures. Pour fixer l'esprit, pénétrons dans l'intérieur de quelques filons qui ont été également cités comme des types d'altération profonde des parties supérieures, et étudions les détails de cette altération.

Le filon de Kautenbach, sur la rive droite de la Moselle (pro-

vince du Hunsdrück), est comme ceux de Berncastel, dont il est voisin, un filon plombifère à gangue de quartz. Toute la partie supérieure de ce filon, jusqu'à une profondeur qui est en certains points à plus de 60 mètres du jour, abonde en phosphate de plomb jaunâtre, qui a longtemps été le minerai normal, aussi bien que la galène. La puissance du phosphate compact ou cristallin a dépassé sur plusieurs points 0m60, et, bien qu'il soit impossible de faire aucune évaluation de la quantité de phosphate fournie par ce filon depuis les premiers temps de son exploitation, toujours peut-on dire que pendant bien des années cette production s'est comptée par centaines de tonnes.

En 1856, on extrayait encore des quantités très-notables de ces phosphates, quoique les chantiers fussent à 60 mètres du jour, et nous avons pu faire sur les minerais les observations suivantes : le phosphate était compact, brun ou blanc jaunâtre, et sillonné de géodes cristallines comme l'eût été un minerai sulfuré ; en plusieurs points, il était intimement mélangé de galène, et souvent les cristaux de phosphate de 0m 005 à 0m 020 de diamètre, parfaitement nets, étaient empâtés dans la galène. On trouvait encore dans les géodes la galène recouvrant les groupements cristallisés de phosphate, et dans une partie de ces géodes il existait même des cristaux hexaèdres de galène, épigénies du phosphate.

Cette pénétration intime de deux combinaisons si différentes, concrétions successives et substitutions par épigénies, ne permet guère de supposer que les phosphates de plomb soient postérieurs à la galène et résultent de sa décomposition.

D'où serait venue cette énorme quantité d'acide phosphorique qui ne se trouve ni dans les autres minéraux du filon, ni dans les roches encaissantes ? N'est-il pas plus logique d'admettre que les phosphates ont été formés en même temps et par les mêmes voies que la galène, et qu'ils se sont principalement condensés près du jour, probablement parce qu'ils étaient plus volatils que la galène qui occupa la profondeur ?

Parmi les filons cuprifères, celui du Virneberg à Rheinbreitbach peut aussi être cité comme exemple de grandes variations de composition en profondeur.

Ce beau filon, dont la masse est composée de quartz compacte,

présente, au niveau de 120 mètres, pour minerai normal, un mé
lange intime de cuivre sulfuré, panaché, et de cuivre pyriteu
tandis que, dans toute la partie supérieure, le cuivre phosphaté éta
le minerai dominant.

Les phosphates des régions supérieures étaient mélangés d
quelques combinaisons accidentelles, telles que des arséniates d
cuivre, de la malachite, du cuivre natif et oxydulé. En s'approfon
dissant, les minerais sulfurés se mélangèrent à tous ces minera
et finirent par les exclure. On a pu faire intervenir l'hypothès
d'une décomposition spontanée des sulfures de la région supérieur
dans les gîtes cuprifères de la Sibérie, où la malachite leur es
substituée; dans les gîtes de Santiago, de Cuba, où c'est le cuivr
natif et oxydulé; mais ici comment expliquer l'intrusion d'une im
mense quantité d'acide phosphorique dans un filon d'une composi
tion si simple?

Le quartz, qui sert de gangue aux minerais phosphatés auss
bien qu'aux minerais sulfurés, présente lui-même quelques vari
tions qui peuvent éclaircir ces questions théoriques.

Dans toute la région des phosphates et des oxydes, ce quar
contient des druses et des géodes calcédonieuses, et c'est dan
ces géodes que se trouvent des cristaux ramuleux de cuivre nati
et ces beaux oxydes rouges, capillaires, si recherchés des min
ralogistes. En profondeur, dès que les minéraux sulfurés ont excl
les phosphates, le caractère calcédonieux est éliminé; il n'y a plu
ni druses ni géodes, et le remplissage est uniquement composé d
quartz compacte.

Ainsi donc, à la difficulté d'expliquer la nature des transfo
mations du minerai par des altérations spontanées, se joint l'impo
sibilité d'attribuer à cette même origine l'état en partie calcédonieu
du quartz et la création de druses et de géodes dans une matiè
absolument compacte.

L'intervention de l'eau, dans les phénomènes du remplissage d
la partie supérieure du filon, est indiquée à la fois par la natu
calcédonieuse et stalactiforme de la gangue, et par la compositio
hydratée des phosphates. Que l'on suppose cette intervention fav
risée par le voisinage de la surface, supprimée au contraire en pr
fondeur par l'effet de la température et de la pression, et l'on au
fait un grand pas vers une théorie probable. C'est donc avec rais

que les filons ont été assimilés à des solfatares métallifères par lesquelles l'intérieur du globe était mis en communication avec la surface, et cette hypothèse seule peut expliquer comment l'intervention des phénomènes de la surface a souvent pu modifier le remplissage produit par les émanations souterraines.

Après avoir étudié ces modifications des filons plombifères et cuprifères, nous hésiterions encore à généraliser nos conclusions, si les gîtes calaminaires de la Belgique et de la Prusse rhénane ne nous apportaient des faits saisissants, développés sur une échelle des plus vastes, et exprimant avec encore plus de précision les différences qui ont pu exister entre les phénomènes de remplissage vers la surface ou dans les profondeurs.

Nous avons considéré les gîtes calaminaires comme des amas en chapelets, réunis entre eux par des canaux sinueux et de section très-réduite; la section horizontale de ces amas est quelquefois très-considérable, tandis que celle des canaux qui les réunissent se réduit souvent aux dimensions les plus restreintes. Ces cheminées irrégulières, en communication avec les émanations souterraines, paraissent, en certains cas, avoir débouché au jour, dans des espèces de vallons ou bassins remplis d'eau, dans lesquels agissaient en même temps des phénomènes sédimentaires.

Les grands bassins superficiels que présentent quelquefois les gîtes calaminaires contiennent des matières évidemment stratifiées par les eaux ; telles sont les argiles bolaires bariolées de Moresnet, et les sables du Dos accompagnés de poudingues à cailloux roulés de quartz blanc cimentés par la calamine. Dans le gîte de la Mallieue, et dans celui de la Nouvelle-Montagne, près Verviers, ces produits sédimentaires, consistant en sables arénacés purs ou mélangés d'argile, se trouvent à d'assez grandes profondeurs, par exemple à 25 ou 50 mètres du jour, et occupent à ces niveaux des espaces considérables.

D'après cette composition de la région supérieure des gîtes, dont les minerais principalement oxydés, carbonatés et silicatés, sont mélangés avec des produits évidents de transports et de sédiments dus à l'action des eaux, la première idée des exploitants fut de conclure que ces gîtes étaient de simples remblais superficiels, qui n'avaient aucune continuité en profondeur. Ces idées théoriques

furent assez générales jusqu'à ce que le grand développement de la fabrication du zinc eût conduit à approfondir les travaux.

On vit alors que les oxydes de fer, les calamines et les plombs carbonatés de la surface, étaient remplacés en profondeur par une proportion croissante de pyrite, de blende et de galène. Dans quelques mines, la substitution est complète, et l'on ne doute plus aujourd'hui que tous les gîtes oxydés et carbonatés à la surface ne se transforment dans la profondeur en minerais sulfurés. Or, si les sulfures doivent être attribués à des phénomènes agissant de bas en haut, il est difficile de ne pas attribuer la même origine aux carbonates, oxydes et silicates; seulement l'influence des phénomènes de la surface doit avoir été pour beaucoup dans la transformation des minerais.

Les gîtes calaminaires de la Silésie, étudiés par M. Delesse, lui ont suggéré des idées analogues ; ils résultent des phénomènes sédimentaires qui ont stratifié avec des argiles, les produits d'émanations souterraines. Les bassins de la Silésie sont beaucoup plus vastes que ceux de la Belgique, et les conduits inférieurs des émanations métallifères, n'ont probablement plus aucune importance de section, comparativement à l'étendue superficielle des dépôts.

Depuis plusieurs années on exploite sur la côte septentrionale d'Espagne, dans la province de Santander, des gîtes considérables de carbonate de zinc blanc stalactiforme ou concrétionné. Les parties supérieures de ces gîtes portent au plus haut degré l'empreinte de l'action des eaux.

On y a trouvé, en effet, le carbonate de zinc en stalactites concentriques avec l'arragonite, et leurs formes aussi bien que la nature concrétionnée des minerais, les assimilent tout à fait aux gîtes calaminaires de la Belgique et de la Silésie.

L'exploitation a déjà pénétré à des profondeurs notables et démontré que sur plusieurs points il y avait une tendance prononcée au mélange de sulfures cristallins qui ont progressivement augmenté et qui, suivant toute probabilité, remplaceront en profondeur les carbonates et les oxydes terreux.

Les gîtes de Los-Santos, en Espagne, nous ont offert un exemple analogue. Un filon très-puissant, du moins dans la partie supérieure, présente une composition mixte où les phénomènes

non plus de sédimentation arénacée, mais de précipitation chimique d'un travertin calcaire, ont eu autant de part au remplissage que les émanations souterraines qui produisaient le fer spathique et les minerais de cuivre.

Des variations analogues ont été observées dans les gîtes de l'Amérique du Sud: ainsi en étudiant les mines du Chili, M. Domeyko est arrivé à conclure que les chlorures d'argent, abondants à la surface, étaient remplacés en profondeur par des minerais sulfurés, et que cette modification résultait, non pas d'actions postérieures, mais d'actions contemporaines à la formation des gîtes. La même explication s'applique, d'une manière presque générale, aux minerais natifs oxydés, chlorurés et bromurés des *pacos* et *colorados* argentifères du Mexique et du Pérou, qui, dans la profondeur, se transforment en *negros*, c'est-à-dire en minerais sulfurés.

Concluons donc: que les différences de composition signalées dans beaucoup de gîtes, résultent de ce que les émanations métallifères se sont modifiées en approchant de la surface, sous l'influence des eaux, ou de ce que des minerais plus volatils que les sulfures se sont condensés vers les parties les plus voisines du jour. Ces différences doivent par conséquent être attribuées non pas à des altérations postérieures, mais bien aux phénomènes générateurs eux-mêmes.

Nous ne voulons pas étendre ces conclusions d'une manière absolue, en prétendant que tous les phénomènes attribués aux altérations spontanées l'ont été à tort. Parmi les exemples mêmes que nous avons pris pour types, le filon de Rheinbreitbach nous offre plusieurs circonstances d'altérations et de transports moléculaires; nous y trouvons un filon croiseur rempli de débris stéatiteux et basaltiques, pénétré vers son contact avec le filon métallifère de cuivre natif qui tapisse les fissures du conglomérat, jusqu'à plusieurs mètres de distance. Ce fait, comme beaucoup d'autres modifications de détail que peuvent présenter les minerais, est bien le résultat d'une action postérieure. Mais les grandes variations dont nous avons signalé plusieurs exemples, diffèrent complétement de ces phénomènes de détail, et sont hors de proportion avec les causes auxquelles on les attribuait.

Ces considérations peuvent contribuer à préciser encore la théorie générale des gîtes métallifères. Elle nous montrent en effet les résultats des émanations souterraines se modifiant de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne du siége des actions génératrices, de manière à former des zones horizontales de nature différente.

La zone la plus rapprochée de la surface est souvent caractérisée par les métaux natifs ou oxydés, par les carbonates, silicates, chlorures, bromures, phosphates, arséniates, etc. ; par la nature compacte, cariée et concrétionnée des gangues. Poursuivis en profondeur, ces minerais et gangues sont bientôt remplacés par les sulfures et par les gangues cristallines qui appartiennent particulièrement à la zone inférieure.

Cette seconde zone est caractérisée non-seulement par les sulfures, mais par l'état cristallin et géodique des minerais, et par le rubanement des gangues. Les pyrites, les falherz, la galène, la blende, l'argent rouge, etc., appartiennent à cette catégorie de minerais évidemment formés par sublimations.

Les faits nous manquent pour apprécier les épaisseurs comparatives de ces deux zones. La zone inférieure nous apparaît comme ayant, en quelque sorte, une épaisseur indéfinie et qui ne peut être sondée, des travaux de 800 mètres de profondeur, pratiqués dans certains filons, n'ayant pu constater aucune variation qui annonçât une transformation dans les conditions générales de la composition des gîtes. Quant à la zone supérieure, 50 mètres seraient presque une moyenne, et 100 mètres un maximum ; son épaisseur est donc très-faible comparativement à celle de la zone inférieure, et elle n'a pour nous une grande importance que parce que c'est celle qui se présente la première à nos recherches et à nos travaux d'exploitation.

Si nous examinons maintenant les variations des minerais relativement à leur traitement métallurgique, nous trouverons que dans beaucoup de cas elles expliquent l'appauvrissement et l'abandon des travaux.

Ainsi beaucoup des exploitations d'argent de l'Amérique du Sud ont été ouvertes dans les pacos et colorados, c'est-à-dire dans des terres ocreuses, tendres et faciles à extraire, qui contenaient l'argent à l'état natif ou à l'état de chlorure, et par conséquent dans les

conditions les plus favorables à l'amalgamation. Ces mines s'approfondissent, les travaux deviennent plus coûteux et en même temps les minerais se transforment en sulfures, c'est-à-dire qu'ils deviennent durs à abattre et d'un traitement métallurgique très-difficile dans une contrée qui manque de combustible. N'est-il pas évident que, dans ce cas, un grand nombre de gîtes seront déclarés épuisés? Mais, aux yeux du géologue, la continuité du minerai reste un fait acquis ; il n'y a que sa nature minéralogique qui s'est modifiée.

Prenons un cas non plus de simple modification minéralogique, mais de transformation plus ou moins complète par la substitution d'un métal à un autre, la conclusion sera la même.

Le filon de Bleyberg, entre Liége et Aix-la-Chapelle, présentait dans ses parties supérieures un des plus beaux remplissages de galène que l'on puisse citer ; la puissance du minerai pur et sans aucun mélange de gangue dépassait 0^{m} 60 et quelquefois un mètre. Les eaux étaient très-abondantes, et l'on n'hésita pas à faire la dépense de deux machines de six cents chevaux. Mais au niveau de 100 mètres la galène se trouva en grande partie remplacée par de la blende qui valait cinq à six fois moins. On comprend qu'une pareille transformation dut réagir d'une manière fâcheuse sur l'entreprise, et l'on a pu dire, jusqu'à un certain point avec exactitude, que le minerai s'était appauvri en profondeur, quoiqu'en réalité la richesse métallifère fût aussi grande. Depuis, l'extension des travaux souterrains a conduit à trouver d'autres zones plombifères et les produits ont repris leur importance première.

Concluons de toutes ces considérations et de tous ces exemples : que le principe de la continuité des minerais en profondeur se trouve suffisamment démontré, mais comme une généralité théorique qu'on ne peut appliquer dans toute sa rigueur.

La continuité ne peut être absolue ni régulière, pas plus dans la profondeur des gîtes que dans les parties les plus rapprochées du jour. Toutes les variations des minerais, tous les accidents qui les interrompent dans les régions connues, peuvent se présenter en approfondissant les travaux ; mais c'est seulement en restant pénétré des conditions de l'origine de ces minerais et du principe de leur continuité en profondeur que l'on pourra donner aux travaux

souterrains cette direction logique et persévérante sans laquelle il en peut exister d'exploitation durable.

Nous avons expliqué, en parlant des filons du Hartz, comment devait être compris l'appauvrissement signalé dans un grand nombre de filons ; mais lorsqu'il s'agit de reprendre l'exploitation de filons abandonnés, dont les parties supérieures ont été enlevées, on n'a plus qu'un seul guide, le principe de la continuité des gîtes en profondeur, et de la continuité probable des conditions moyennes de leur remplissage. Ces éléments peuvent suffire dans beaucoup de cas, et c'est pour cela que nous avons cru devoir traiter avec autant de développement et dans un chapitre spécial, les questions relatives à la continuité et aux variations que peuvent présenter les minerais en profondeur.

CHAPITRE VI

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MINERAIS.

La description des gîtes métallifères réguliers ou irréguliers, nous montre partout les minerais mélangés avec des gangues. L'exploitation, bien que dirigée de manière à abattre seulement les parties des gîtes suffisamment riches et rémunératrices, n'obtient cependant que des minerais bruts, c'est-à-dire des mélanges, des composés métallifères, avec une proportion généralement plus grande des gangues dans lesquelles ils sont disséminés.

On se ferait une bien fausse idée de ces minerais si on ne les étudiait que dans les collections minéralogiques, où l'on ne rassemble que des échantillons exceptionnels par leur richesse et la netteté de leurs caractères. Dans les minerais pratiques, les caractères de la substance recherchée sont généralement masqués par la prédominance des gangues.

L'ingénieur qui les étudie doit donc ajouter à la connaissance des minéraux isolés, celle des distinctions de faciès et de densité qui révèlent dans les roches la présence d'une petite quantité des principes métallifères. Il doit surtout, lorsqu'il organise des triages et des préparations mécaniques, s'habituer à reconnaître à l'œil la teneur des minerais et communiquer cette habitude aux ouvriers.

Nous avons déjà dit qu'un minerai n'était considéré comme tel

batteries, chacune de ces batteries étant formée par la réunion de trois ou quatre flèches.

Les figures 63 et 64 représentent une batterie de quatre flèches.

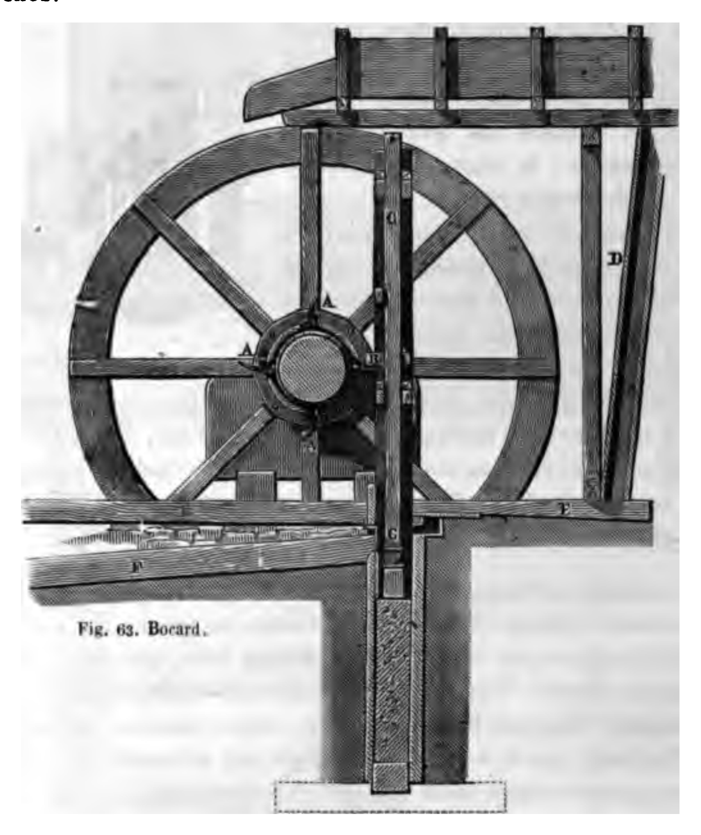


Fig. 63. Bocard.

Les éléments variables dans un bocard sont : le *nombre* et le *poids* des *flèches*, leur *levée* et le *nombre* de ces levées.

En Cornwall, les flèches sont formées de madriers ayant $0^{m}15$ de largeur sur $0^{m}12$ d'épaisseur ; avec leur sabot en fonte, elles pèsent de 140 à 160 kilog. Le sabot a, par exemple, $0^{m}40$ de hauteur, $0^{m}18$ dans le sens de la largeur du bocard, et $0^{m}25$ dans le sens de sa longueur ; il est évidé de manière à recevoir la flèche, qui s'y trouve serrée par des coins.

Les flèches sont groupées par batteries de 3 ou 4. A Charlestown United-Mines, douze batteries de trois flèches sont mises en mouvement par une machine de 40 chevaux. L'arbre moteur fait 10 tours par minute, et, comme il est pourvu de 5 cames devant chaque flèche, le nombre des levées est de 50 par minute; la hauteur de ces levées est de 0^{m}20 à 0^{m}25.



Fig. 61. — Élévation d'une batterie.

En Cornwall, où les minerais sont durs et en grande masse, et où les moteurs sont le plus souvent des machines à vapeur, les bocards ont été construits sur de larges proportions, de manière à produire le plus grand effet utile. En Allemagne, où les moteurs sont exclusivement des cours d'eau, et où les minerais sont souvent moins durs et moins abondants, on emploie des bocards dont les flèches ne pèsent que de 50 à 80 kilog., le nombre de leurs coups étant réduit à 30 par minute.

On bocarde en faisant entrer dans la caisse où agissent les pilons un courant d'eau qui entraîne les particules ou grains de minerais aussitôt qu'ils ont été réduits à une ténuité telle, que cette action puisse les enlever. C'est ce qu'on appelle le *bocard à auge*. L'aire sur laquelle frappent les pilons d'une même batterie est inclinée de telle sorte, que le minerai, entrant par une extrémité avec l'eau, passe successivement sous les trois ou quatre pilons qui composent la batterie.

Dans le *bocard à grille*, la face antérieure opposée à celle de l'entrée de l'eau et du minerai, est fermée par une grille à barres verticales ou croisées; aussitôt que le minerai est réduit en fragments assez fins pour passer entre les intervalles de cette grille, il est entraîné par le courant d'eau.

Lorsqu'on bocarde ainsi dans un courant d'eau, l'eau sort chargée de minerais en sables et on la fait passer immédiatement dans une série de caisses à sections croissantes, disposées en labyrinthe. Les sables les plus gros se déposent d'abord, puis les sables

fins, tandis que les *schlamms* ou sables très-fins sont emportés au

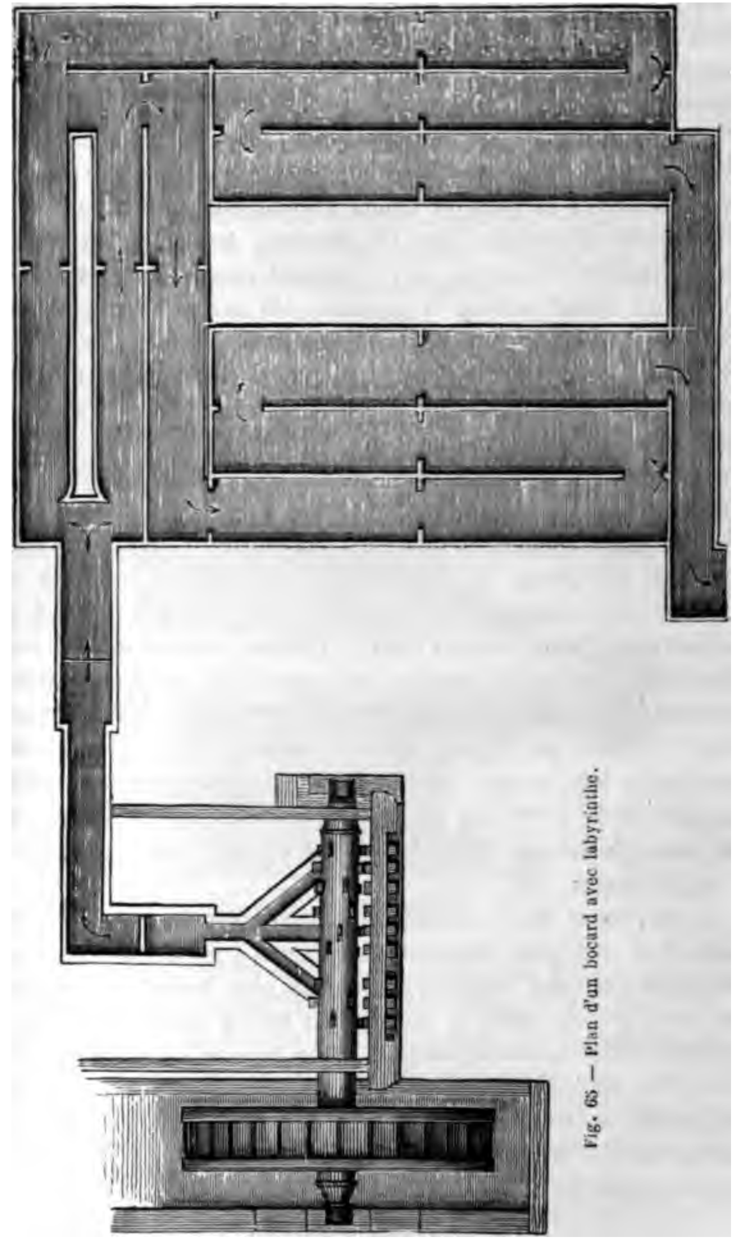


Fig. 65 — Plan d'un bocard avec labyrinthe.

dehors du labyrinthe (fig. 65) et recueillis dans d'autres appareils.

Dans certains cas, lorsqu'on manque d'eau, on peut bocarder à sec sur de fortes grilles placées horizontalement au-dessous des pilons; le minerai brisé est chassé à travers les intervalles des barreaux. De simples tamisages permettent ensuite de séparer le minerai en sables fins, moyens et gros.

L'opération du bocardage doit avoir pour but non-seulement l'écrasement du minerai et sa réduction en poudre d'une ténuité proportionnée à la plus ou moins grande finesse des particules de minerai disséminées dans les gangues, mais elle doit encore être dirigée de telle sorte, que le minerai pulvérulent soit immédiatement classé suivant la grosseur des grains. Une première classification en *gros sables, sables moyens* et *sables fins,* est indispensable pour la séparation des gangues et l'isolement du minerai.

Bien que cette classification puisse toujours se faire par des tamisages à sec, il est plus avantageux, lorsqu'on bocarde dans l'eau, de se servir de l'eau qui sort du bocard pour obtenir une première classification des sables; il suffit pour cela d'ajouter au bocard un labyrinthe composé d'une série de canaux d'écoulement dans lesquels les grains se déposent et où commence même un premier enrichissement du minerai. Les matières sortant du bocard sont d'abord reçues dans un premier compartiment creusé d'environ 1 mètre et barré à son extrémité par des planches de 0m60 de hauteur; c'est dans ce premier compartiment, le moins large de tous, que restent les gros sables. Les sables moyens continuent leur course dans le labyrinthe composé de conduits ayant de 0m30 à 0m50 de profondeur jusqu'à un autre barrage qui ne laisse passer que les sables fins ou schlams dans des conduits à large section.

Il est évident que la classification ainsi obtenue est très-imparfaite. Les plus gros fragments des gangues les moins denses, se déposent avec des fragments beaucoup plus petits des minerais les plus denses; mais ce mélange de grains hétérogènes et inégaux peut être immédiatement livré aux appareils séparateurs. De plus, les sables gros et moyens déposés dans les canaux du labyrinthe se trouvent débarrassés des sables les plus fins ou schlamms qui doivent être traités séparément et représentent la partie la plus difficile de la préparation mécanique.

Cylindres broyeurs. — On a souvent reproché aux bocards

de produire trop de sables fins et d'écraser, par la brutalité de leur choc, les parties métallifères, qui, par leur nature aigre et cassante, tendent à passer dans les schlamms.

Les cylindres broyeurs ont principalement pour but de remédier à cet inconvénient, en substituant le broyage par compression au broyage par choc; mais ils ne doivent être appliqués qu'aux gangues les moins dures, telles que la baryte sulfatée, le spath-fluor, la chaux carbonatée, les gangues argileuses et ferrugineuses. Les bocards doivent toujours être préférés lorsque les gangues sont très-dures, et notamment pour le quartz.

Les cylindres broyeurs sont montés généralement suivant le système adopté au Hartz, système dont les diverses parties sont représentées fig. 66.

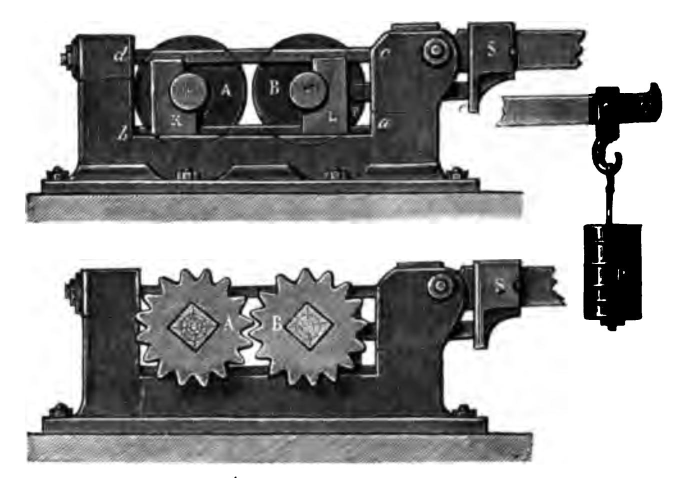


Fig. 66. — Cylindres broyeurs.

Ce sont deux cylindres lisses ou cannelés, mis en mouvement par une roue hydraulique, soit par une machine à vapeur, de manière à laminer en quelque sorte le minerai, qui est débité par une trémie supérieure. Les cylindres sont serrés l'un contre l'autre par des contre-poids qui règlent la pression du laminage. Au-dessous des cylindres se trouve un tamis qui sépare la partie suffisamment broyée des morceaux qui sont encore trop gros, et qui sont ramenés dans la trémie pour être laminés de nouveau.

Les contre-poids sont réglés d'après la dureté des minerais ; on remplace quelquefois ceux qui sont indiqués fig. 66 par des ressorts en acier ou en caoutchouc qui ont un avantage spécial c'est que leur pression augmente en proportion de l'écartement des cylindres.

Au Hartz, on donne généralement aux cylindres 0m36 de diamètre et 0m43 de longueur de table ; ils font de 15 à 18 tours par minute et l'on évalue à 8 chevaux la force nécessaire pour les mettre en mouvement.

Dans ces conditions, une paire de cylindres peut broyer en dix heures de travail, 6 à 7 mètres cubes de minerai à une grosseur telle que tout passe à travers une grille dont les ouvertures ont 0,009 de côté. Pour les minerais à gangues quartzeuses, les mêmes cylindres ne broient plus que 3 à 4 mètres cubes, et les cylindres, bien qu'ils soient en fonte trempée, s'usent très-rapidement.

Les cylindres sont employés d'une manière générale en Angleterre pour la préparation mécanique des minerais de plomb du Derbyshire et du Cumberland ; à Allenhead, ils sont établis dans les conditions suivantes.

Diamètre des cylindres 0m55, pour une longueur de 0m50. Une paire de cylindre cannelés ébauche et une paire de cylindres lisses placée au-dessous, achève le broyage.

Un trommel reçoit les produits du broyage, tamise tout le fin dans un courant d'eau, tandis que les fragments les plus gros sont relevés par une roue de 4 mètres de diamètre, pour être broyés de nouveau.

Une machine de 20 chevaux, faisant 45 tours par minute, conduit un atelier double, c'est-à-dire comprenant quatre paires de cylindres. Les cylindres cannelés supérieurs font 7 tours par minute et les cylindres inférieurs à surface lisse, font 14 tours.

On s'est beaucoup occupé, depuis la mise en exploitation des quartz aurifères en Californie, de la construction des broyeurs, et parmi les dispositions qui ont le mieux réussi, nous citerons le *broyeur* ou *concasseur américain*, perfectionné par MM. Huet et Geyler.

Le broyeur américain, figure 67, présente une disposition en quelque sorte imitée de la machoire des animaux. La bielle *d g*,

mise en mouvement par l'axe excentré *c* transmet en effet le mouvement à la machoire mobile *b* qui broye les minerais contre la machoire fixe *a*. La vis *k* permet de régler par la position d'un coin, l'écartement des deux machoires et par conséquent, la grosseur maximum des fragments qui peuvent sortir de l'appareil.

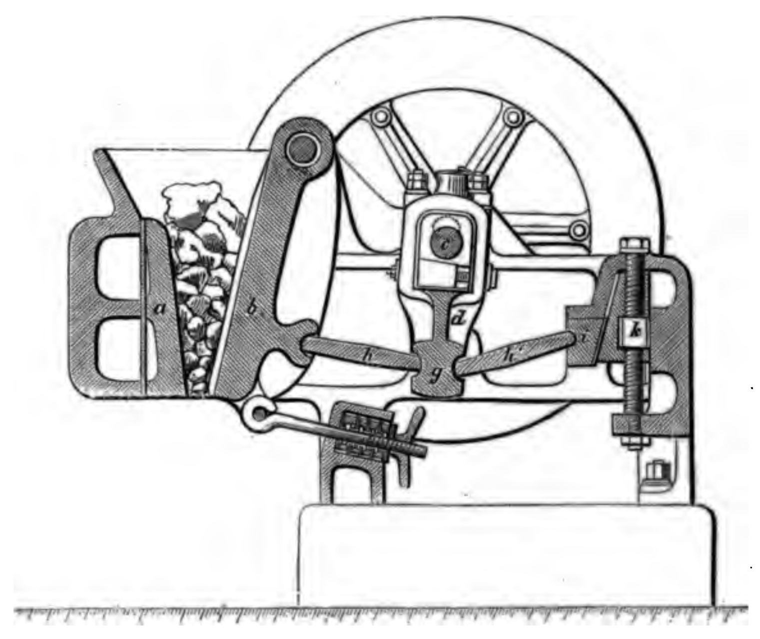


Fig. 67. — Broyeur américain système Huet et Geyler.

Appliqué aux minerais, ce broyeur-concasseur les brise par compression, suivant les délits ou clivages les plus faibles. Or, dans une gangue mélangée de minerai, les parties les plus faibles sont toujours celles où se trouvent intercalées les veinules, nœuds et particules métallifères. Le minerai ainsi decapé se détache ensuite facilement des gangues.

Le *broyeur Carr*, appliqué aux roches tendres ou du moins ne faisant pas feu avec l'acier, donne des résultats remarquables. La figure 68 ci-après en indique les dispositions.

Un plateau portant deux couronnes de barreaux d'acier, tourne rapidement dans un sens ; ces deux couronnes sont croisées par

deux autres, également formées de barreaux qui tournent en sens inverse.

Que l'on suppose les fragments du minerai à broyer, introduits par la trémie placée au centre de l'appareil ; ces fragments sont frappés successivement dans un sens et dans l'autre, et se brisent sous l'action de ces coups violents et multipliés. Le nombre et

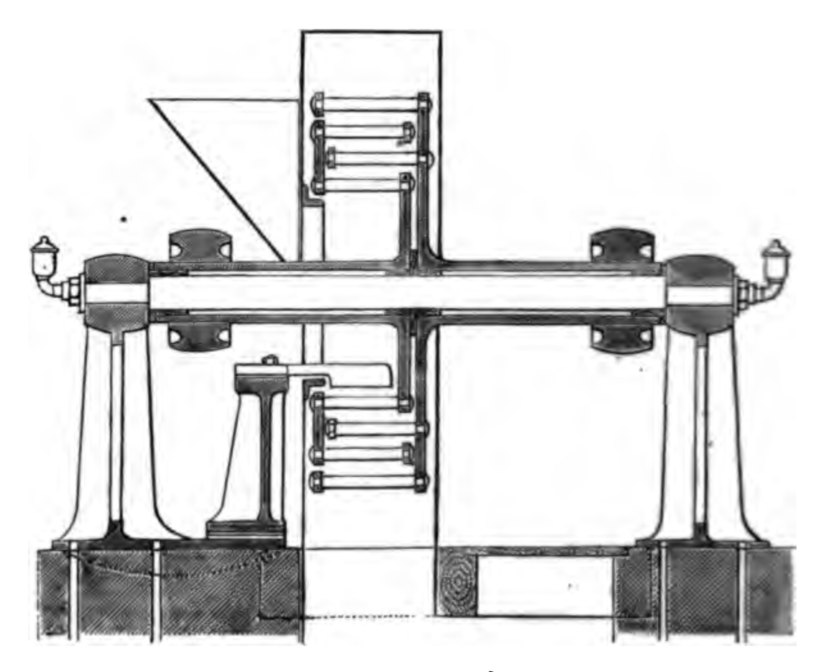


Fig. 68. — Broyeur Carr.

l'intensité des chocs sont d'ailleurs réglés d'après la vitesse des deux arbres tournant en sens inverse.

On réduit ainsi, en sable assez uniformément granulé, les minerais à gangues calcaires ou argileuses, les charbons, etc.

Le mouvement inverse des plateaux est obtenu à l'aide de deux arbres creux, tournant sur un arbre plein, ainsi que l'indique la coupe figure 68.

On emploie quelquefois, pour broyer les minerais, lorsqu'on ne cherche pas à conserver des grains d'une grosseur uniforme et favorable à la préparation mécanique, des meules verticales.

Ces meules doivent être disposées de telle sorte, que le diamètre du cercle parcouru par les roues, soit un peu plus petit que leur diamètre. Les jantes de ces roues sont dès lors obligées de glisser sur l'aire qu'elles parcourent, et le minerai soumis à leur action est écrasé non-seulement par leur poids, mais par le mouvement de torsion qui résulte de ce glissement. C'est à cause de cet effet, que l'appareil est ordinairement désigné sous la dénomination de *tordoir.*

Les meules se font en fonte ou en pierre dure; elles pèsent de 1,000 à 3,000 kilogrammes.

Lorsque les minerais doivent être réduits en poudre très-fine, comme par exemple certains minerais d'argent qui doivent être soumis à l'amalgamation, on les fait passer, après les avoir broyés par les moyens précités, sous des meules horizontales animées d'une grande vitesse. Ces meules sont établies comme celles d'un moulin à blé, et le produit ainsi obtenu est en effet désigné sous le nom de *farine minérale.*

Cette finesse de grain peut d'ailleurs être obtenue par les bocards à auges; on y arrive même par les cylindres broyeurs, en faisant passer successivement le minerai entre une série de cylindres lisses et fortement serrés.

APPAREILS DE CLASSIFICATION.

Le lavage proprement dit doit être précédé d'une classification aussi exacte que possible du minerai broyé, suivant la grosseur du grain. De l'exactitude de cette classification dépend celle du lavage; car, la séparation des minerais et des gangues ne pouvant être déterminée que par les différences de leurs densités, ces différences seront facilement mises à profit si le volume des fragments est à peu près égal; tandis que, si toutes les grosseurs étaient mélangées, la séparation se ferait d'une manière d'autant plus imparfaite que les différences seraient plus considérables.

Nous exceptons le cas où tous les fragments de gangues seraient plus gros que les fragments de minerais, condition obtenue par quelques appareils spéciaux et qui est avantageuse pour la préparation par les divers procédés de lavage.

Trommels. — L'appareil le plus employé pour la classification des minerais broyés est le *trommel*.

C'est un cylindre à claire-voie, formé par des barreaux plus ou moins espacés, ou par des tôles perforées de trous plus ou moins grands, dans l'intérieur duquel on introduit le minerai. La surface cylindrique du trommel est divisée en compartiments, et formée par des grilles ou par des toiles métalliques dont la grosseur va toujours en croissant, ainsi que l'indique la figure 69.

C'est une sorte de *blutage* que l'on fait subir au minerai broyé. Les diverses grosseurs de grains se classent en effet dans les cases disposées au-dessous du trommel pour les recevoir, d'abord

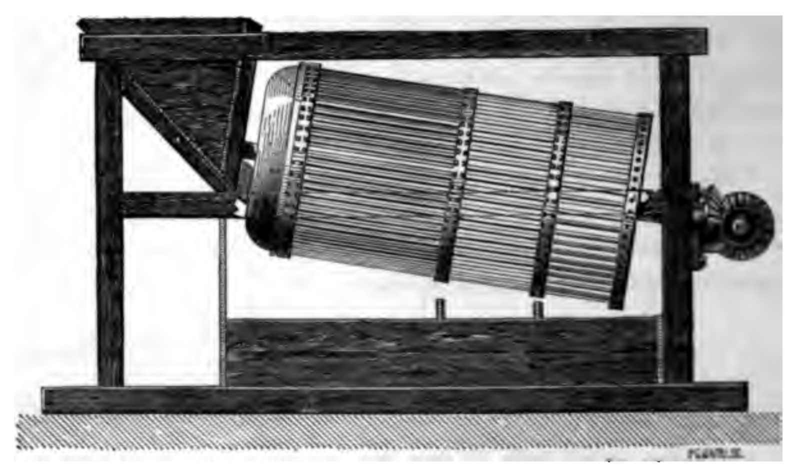


Fig 69. — Trommel simple.

les plus fins, puis les moyens, puis les gros. Le trommel rejette au dehors les fragments qui n'ont pu passer par la grille la plus espacée.

On emploie d'abord un trommel simple, immédiatement à la suite des broyeurs, afin de séparer tout ce qui se trouve réduit à une grosseur convenable, de tous les gros fragments qui doivent être broyés de nouveau. Les produits du broyage sont ensuite livrés à des trommels classificateurs.

Ces trommels sont fabriqués avec des tôles perforées de trous circulaires, avec lesquels on obtient une classification bien plus exacte qu'avec les grilles.

On a construit des trommels de formes très-variées, parmi lesquelles le type adopté par MM. Huet et Geyler nous paraît résumer tous les perfectionnements obtenus. Ce trommel à double enveloppe est représenté figure 70; il tourne autour d'un arbre creux qui

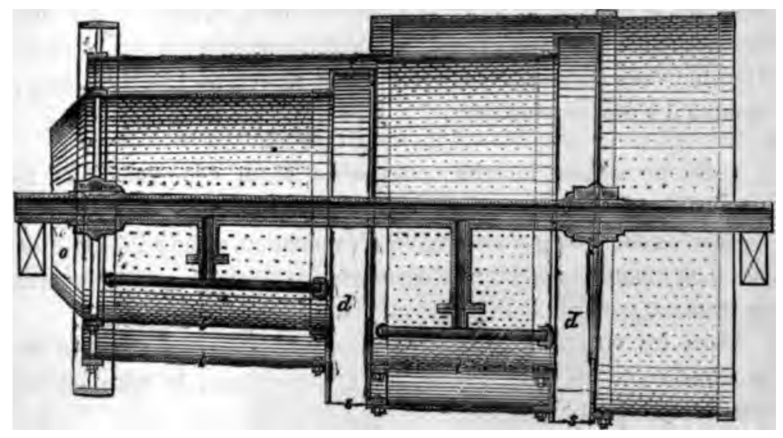


Fig. 70. — Trommel à enveloppe, système Huet et Geyler.

sert de conduite d'eau, de manière à produire des irrigations sur le minerai.

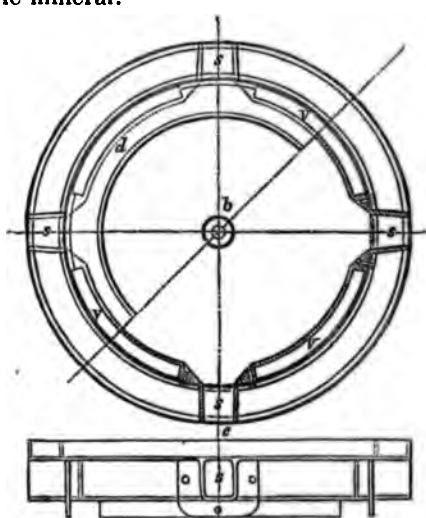


Fig. 71. — Coupe du trommel à enveloppe.

La coupe figure 71, indique la disposition intérieure de ce trommel; MM. Huet et Geyler en décrivent la marche dans les termes suivants :

« Les matières brutes livrées en tête par l'extrémité *o*, entraînées par la rotation et obéissant à la conicité, se répandent sur la tôle perforée *t*. Une partie des grains traverse cette enveloppe et tombe sur la tôle pleine, tandis que les plus gros fragments retenus sur *t* avancent pour venir tomber à leur tour dans une rigole

circulaire *d*, laquelle, munie d'autant d'orifices *s. s. s. s.* qu'on le veut, les dégorge au dehors.

« Quant aux grains qui ont été déversés sur la tôle pleine, ils passent sous la couronne *d* par les espaces vides *v. v. v. v.*, entre les orifices *s. s. s. s.*, et avancent ainsi, cheminant sur une nouvelle tôle perforée *t''*, placée en prolongement de la tôle pleine *t*. Une nouvelle séparation se produit à nouveau, identiquement, comme il a été dit plus haut.

« On peut donc imaginer une série aussi complète qu'on le voudra de tôles perforées, étagées les unes à la suite des autres, terminées chacune par une rigole d'évacuation, avec adjonction en dessous d'une tôle pleine. La dernière tôle perforée qui terminera le trommel sera seule exempte de cette addition. »

Dans les contrées où l'eau manque, on a souvent employé les trommels sur les sables secs, mais dans ce cas, la classification est beaucoup plus lente.

La classification des grains peut également être obtenue au moyen de tamis à secousses dits *Ratters*.

La surface de ces tamis à secousses est inclinée et formée de grilles ou de tôles perforées de dimensions croissantes, de telle sorte que la classification est déterminée par des tamisages successifs. Aujourd'hui ces appareils bruyants et d'un entretien assez couteux, sont presque généralement remplacés par des trommels.

Classificateurs de Schlamms. — Les trommels séparent et classent assez facilement les grains, mais livrent sous forme de boues ou de sables fins, une grande proportion de minerais qui, pour être utilement lavés, doivent être classés plus exactement.

Les boues ou sables fins sont généralement plus riches que les grains. Dans une série de grains et de sables provenant des minerais broyés, les composés métalliques plus aigres et plus cassants que les gangues, ont été broyés plus fins et sont passés en plus grande proportion dans les grains pulvérulents. Il faut donc classer autant que possible les sables et même les boues fines désignées sous la dénomination de *Schlamms*.

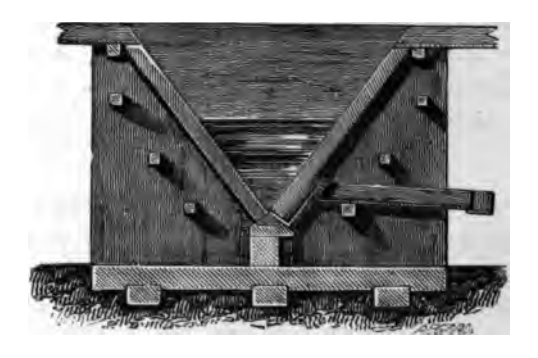
La classification des éléments fins est d'autant plus importante que le lavage a plus de peine a y séparer les minerais des gangues,

les différences de densité se trouvant en partie annulées par l'adhérence qui tend à se produire entre les petits grains.

On peut obtenir cette classification : 1° par des courants d'eau ; 2° par des courants d'air.

Que l'on suppose un chenal, dans lequel se meut un courant d'eau tenant les schlamms en suspension. Si l'on augmente subitement la section de ce courant d'eau, on diminue sa vitesse, de telle sorte que les parties les plus pesantes se déposeront.

On obtient ce résultat en faisant passer le courant d'eau chargé de schlamm à la partie supérieure d'une caisse en forme de pyramide renversée représentée figure 72.



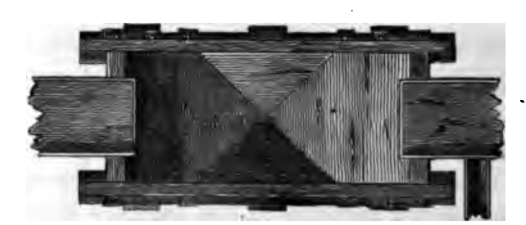


Fig. 72. — Caisse pointue.

Le courant d'eau, perdant une partie de sa vitesse, perd une partie correspondante de la faculté de tenir des particules minérales en suspension: Les plus denses sont donc abandonnées et gagnent le fond de la caisse, tandis que les plus légères continuent leur marche. Les parties abandonnées ne sont réellement pas enrichies, elles comprennent les plus gros grains de gangues et des grains de minerai sensiblement plus petits, qui tombent parce qu'ils sont plus denses.

On peut faire passer le courant des sables métallifères sur une série de caisses qui sont de plus en plus larges, et qui ralentissent de plus en plus le mouvement, de manière à fournir des sables de plus en plus fins.

On reçoit ainsi, par exemple, dans quatre caisses successives : 1° un sable fin n° 1 ; 2° un sable plus fin n° 2 ; 3° un schlamm ; 4° un schlamm plus fin. Les diverses classes obtenues peuvent ensuite être lavées séparément sur les tables qui conviennent à chaque grosseur.

Pour recueillir et faire couler les schlamms métallifères sur les tables de lavage, il existe vers la pointe inférieure de la caisse un conduit muni d'un robinet ou plutôt d'une soupape à laquelle on imprime un mouvement alternatif, de manière à éviter par ses chocs intermittents l'engorgement du syphon. La pression de l'eau chasse les sables mélangés à l'eau ; l'ouverture règle le débit du courant.

Les appareils distributeurs qui doivent alimenter les appareils de lavage sont basés sur les mêmes principes que ceux qui ont servi à la classification : répandre sur les tables un courant régulier d'eau, tenant en suspension des sables dont le grain soit aussi uniforme que possible. Ce but a paru atteint par la *caisse pointue* ou *spitz-kasten* des Allemands, représentée par la figure ci-dessus, appareil qui non-seulement détermine une classification, mais sert aussi de distributeur. On y est également arrivé par divers malaxeurs à mouvement continu.

L'eau tenant en suspension des grains de grosseur aussi uniforme que possible, et débarassés des molécules argileuses qui tendent à augmenter l'adhérence des grains à séparer, est ainsi amenée sur les appareils de cavage dans les meilleures conditions pour obtenir la séparation des gangues et des minerais, cette séparation étant facilitée par la différence de grosseur qui existe entre les grains de gangues qui sont toujours d'autant plus gros que les grains de minerai que la différence des densités est plus considérable.

Les caisses pointues ont été perfectionnées en disposant à la suite les uns des autres une série de caisses à section croissante, et en

plaçant vers le fond de la caisse un tuyau qui y amène de l'eau de manière à déterminer un courant ascendant (figure 73).

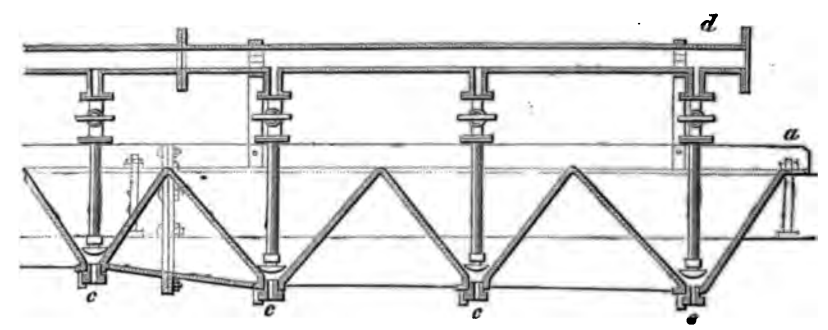


Fig. 73 — Classificateurs de schlamms.

Le courant ascendant déterminé dans chaque caisse par les tubes verticaux qui communiquent avec le tuyau *d*, détruit l'adhérence des grains et ramène dans le courant supérieur des grains légers qui avaient été entraînés par de plus denses vers le fond de la caisse. Des robinets permettent de régler par tâtonnement le débit d'eau, de manière à obtenir au fond de chaque caisse un sable bien classé. L'écoulement de ce sable est ensuite réglé par les orifices inférieurs *c*.

L'emploi des courants ascendants est un moyen nouveau, introduit dans un grand nombre d'appareils de classification et de lavage.

MM. Huet et Geyler recommandent tout particulièrement pour la classification des schlamms, les cônes classificateurs, représentés figure 74, ci-après, qu'ils décrivent dans les termes suivants :

« Le plus complet de tous les appareils de classification est celui qui est connu sous le nom de cône classificateur.

Cet appareil se compose d'un tronc de cône renversé *a*, *a* dans lequel on introduit un autre cône concentrique *b*, *b* pouvant, à volonté, s'élever ou s'abaisser à l'aide de la vis *c* ; il est percé à sa partie inférieure de trous *dd*. Ce mouvement vertical du cône

intérieur permet d'augmenter ou de diminuer, suivant les besoins, la section de l'espace annulaire *ab*, *ab* compris entre les deux cônes, ainsi qu'il est indiqué figure 74, sur le cône extrême présenté en coupe.

« Le cône extérieur fixe est entouré, à sa grande base, par une

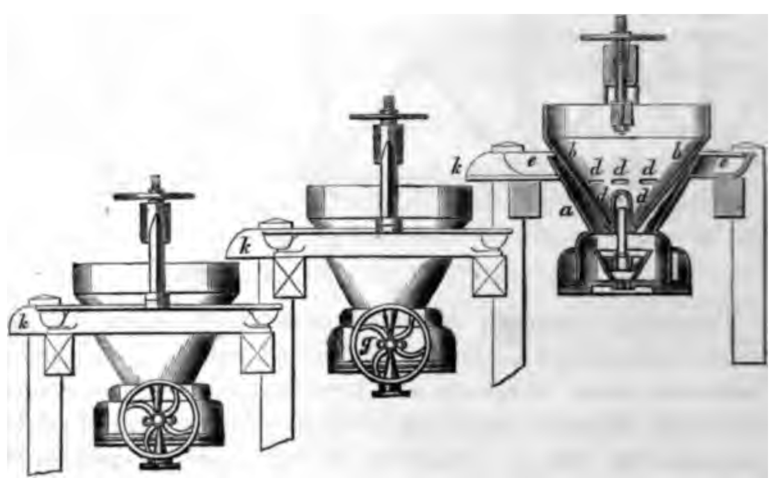


Fig. 74. — Cônes classificateurs.

cuvette *e*, *e* et il se termine, vers le bas, par un évasement cylindrique *f* communiquant avec l'alimentation d'eau par une vanne *g* ; il porte en outre un petit cône *h* qui, à son sommet, se termine par un orifice *i* qui livre un écoulement au liquide et aux matières déposées.

Ces conditions de construction étant bien réglées, l'appareil fonctionne de la manière suivante :

« Les sables et les boues, c'est-à-dire toutes les matières inférieures à 3/4 de millimètre, en suspension dans un courant d'eau, viennent se déverser dans le cône intérieur *b*, *b* et, passant par les trous *d*, *d*, elles arrivent dans l'espace annulaire *ab*, *ab*, où elles rencontrent le courant ascendant introduit et réglé par la vanne *g*. La séparation commence alors à se produire ; les matières capables de résister au courant ascendant tombent au fond, et sont évacuées par l'orifice *i*, tandis que les plus légères, subissant l'in-

fluence de l'entraînement, sont emportées et déversées dans la rigole du haut *e, e* pour être expulsées hors de l'appareil par le bec *k*. Il en résulte donc un classement, non par volume, mais dans lequel le poids est combiné avec la surface des grains, et les produits recueillis par le bas seront d'autant plus gros que les deux cônes seront plus rapprochés et que la quantité d'eau introduite par la vanne sera plus grande. »

Ceci exposé, supposons une suite de cônes placés par étages, de telle sorte que le bec *k* du premier vienne se déverser dans le cône intérieur d'un second, le bec de celui-ci dans le cône mobile d'un troisième, et ainsi de suite ; supposons encore que l'écartement des cônes, dans chaque appareil, ainsi que l'introduction d'eau soient convenablement réglés, pour obtenir, dans chacun d'eux, des vitesses décroissantes ; il est alors certain que les matières se classeront de manière à être de plus en plus petites, à mesure que l'écartement des cônes croîtra et que l'arrivée d'eau sera moindre.

Ces appareils se prêtent donc à toutes les exigences du travail, puisque l'on peut faire à volonté et indépendamment la section et la vitesse de l'eau dans cette section. Ajoutons encore que l'orifice d'évacuation *i* peut aussi varier à volonté, en raison de la quantité des matièrss à évacuer ; à cet effet, chaque cône est muni d'une série d'ajustages que l'on peut adapter avec la facilité la plus grande.

Les cônes à courants ascendants, lorsqu'on leur livre des sables à grains inégaux, les classent comme les caisses pointues précédemment citées, les grains des gangues étant un peu plus volumineux que les grains de minerai ; mais si on leur livre des grains parfaitement classés, ils deviennent des appareils de lavage et *séparent* les minerais.

Classeur-trieur à vent. Le classeur-trieur à vent prépare aussi les minerais broyés dans des conditions qui rendent la séparation des minerais plus facile et plus sûre. Son effet principal est de réunir dans une même classe, des fragments plus petits des substances denses ou minerais, avec des fragements plus gros des substances moins denses ou gangues, et cela de telle sorte que les volumes de grains tombés dans une même case se trouvent être en

raison inverse des densités de ces grains. Ce mélange de grains dissemblables devient d'autant plus facile à séparer par le lavage que la différence de grosseur des fragments de minerais et de gangues est plus prononcée, quoique étant tous de poids à peu près égaux. Quelquefois même un simple tamisage peut effectuer la séparation.

Les appareils établis en 1851 dans les ateliers d'Engis, sur la Meuse, ont résolu le problème que présentait l'application pratique. Ceux qui ont donné les meilleurs résultats se composent d'un tuyau rectangulaire de 0m 32 de largeur et 0m 55 de hauteur avec une longueur de 20 à 25 mètres.

La section du tuyau à l'entrée (0,32×0,55) va toujours en augmentant, depuis l'entrée du minerai jusqu'à la chambre par laquelle se termine l'appareil à son entrée dans cette chambre ; le tuyau a plus d'un mètre sur 1m50.

Que l'on suppose un courant d'air régulier entrant par l'orifice rectangulaire et réduit de ce tuyau, et sortant par l'autre extrémité ; sa vitesse aura toujours été en diminuant, puisque la section de tuyau va toujours croissant.

Une trémie placée à l'orifice laisse tomber et soumet à l'action de ce courant d'air une lame mince de minerai pulvérisé et séché. Ce minerai est divisé et entraîné par le courant d'air ; et, comme la vitesse de ce courant va en décroissant, les particules les plus lourdes se déposent d'abord d'autant plus près de l'orifice que leur pesanteur est plus grande, et les parties les plus légères et les plus ténues sont au contraire entraînées d'autant plus loin que cette légèreté ou cette ténuité sont plus prononcées.

Des trémies placées de distance en distance, à la partie inférieure du tuyau, permettent de faire tomber dans des cases distinctes et successives, les matières qui se sont déposées sur toute sa longueur : on obtient ainsi un grand nombre de classes de grains.

Si l'on soumettait à l'action de l'appareil des fragments de grosseurs égales, on pourrait séparer les substances les plus denses des plus légères ; mais, comme cette classification exacte ne serait pas possible, on soumet à la fois à l'action du courant d'air l'ensemble des matières pulvérisées. Dès lors, ainsi qu'il a été

dit précédemment, les fragments les plus gros des substances légères se déposent avec les fragments les plus petits des substances denses, et la différence des grosseurs est d'autant plus prononcée que celle des pesanteurs spécifiques est plus considérable.

Que l'on soumette ensuite à l'action d'un courant d'eau, sur une table à secousses par exemple, ces mélanges hétérogènes : la séparation s'obtient bien plus facilement et plus nettement que si la classification avait aussi des grains de grosseur uniforme ; les grains les moins denses, étant les plus volumineux, présenteront plus de surface au courant, et seront entraînés, tandis que les plus denses, étant d'un volume plus petit, ne donneront que peu de prise à l'eau et resteront sur la table.

Il y a économie de temps et beaucoup moins de perte. Les essais comparatifs ont démontré que la préparation mécanique des minerais passés au trieur à vent, coûtait 25 pour cent de moins que celle des minerais soumis directement aux appareils de lavage.

Un trieur à vent, dans les dimensions précédemment indiquées, passe en moyenne 1,000 kilog. de minerais par heure, soit 24 tonnes par jour.

La seule difficulté qui a empêché cet appareil de se généraliser, est celle d'obtenir un courant d'air d'une vitesse constante. Cette difficulté est considérable lorsqu'on emploie de petits ventilateurs animés d'une grande vitesse, mais si l'on applique un ventilateur de grande dimension avec une vitesse de 50 à 60 tours, qu'il est facile de maintenir avec précision, les résultats de la classification seront encore plus exacts et plus avantageux que ceux qui ont été obtenus à Eugis.

APPAREILS DE LAVAGE.

La classification obtenue, les grains, les sables et les schlamms doivent être soumis au lavage qui opérera la séparation des minerais et des gangues.

Les appareils employés sont : pour les sables gros ou moyens, les *cribles*, les *tables à secousses*, ou des caisses que l'on appelle *caissons allemands*, et, pour les sables fins, les *tables dormantes*, les *tables à toiles*, les *tables coniques*, etc.

Cribles hydrauliques. — Le criblage hydraulique a pour but d'isoler, dans les sables gros et moyens, les parties métallifères. Cette opération s'exécute au moyen d'un crible ou caisse dont le fond est formé d'une grille serrée, et qui plonge elle-même dans une cuve remplie d'eau. Une charge de sable à gros grains étant placée dans le crible, on lui imprime, soit directement à la main en la tenant par deux anses, soit au moyen d'un balancier avec contre-poids (fig. 75), un mouvement alternatif de haut en bas et de bas en haut. Le mouvement de l'eau qui entre par le fond et monte dans le crible à chaque oscillation, soulève les sables d'autant plus facilement que leur densité est moindre; les grains les plus légers montent donc à la surface, tandis que les grains métallifères, qui sont plus denses, gagnent le fond.

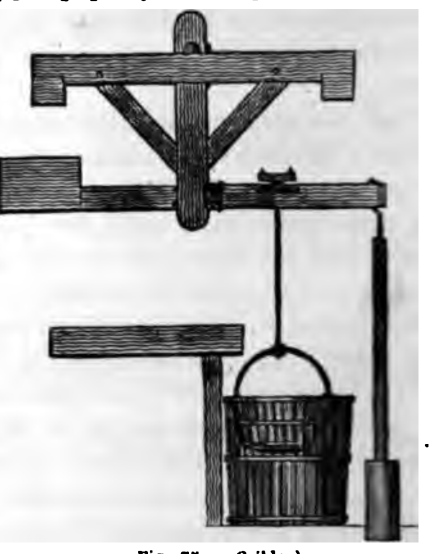


Fig. 75. — Crible à cuve.

Si, par exemple, les grains sont composés de quartz, pyrite et galène, ces matières finissent par se ranger en couches successives et par ordre de densité.

Les densités sont pour les principaux minerais et pour les gangues principales que l'on soumet aux préparations mécaniques :

MINERAIS

Or natif	19,28
Cinabre	10,21
Galène	7,50
Oxyde d'étain	6,90
Pyrite	4,80
Blende	4,20
Calamine	3,70

GANGUES.

Baryte sulfatée.	4,40
Spath-fluor.	3,14
Chaux carbonatée.	2,72
Quartz.	2,69
Argiles.	2,50

Après avoir imprimé au crible un nombre d'oscillations suffisant, les diverses substances qui constituent le sable, se séparent et se classent par zones horizontales assez distinctes; l'ouvrier peut enlever successivement, à l'aide d'une spatule, les gangues pauvres qui viennent à la surface. Il concentre ainsi le minerai, et n'arrête la séparation qu'au point où elle n'est plus assez facile pour qu'il soit possible d'éviter les pertes. Avec une habitude qui s'acquiert assez rapidement, un ouvrier arrivera ainsi à enrichir les schlicks au point convenable pour le traitement métallurgique.

Dans quelques ateliers, on a trouvé de l'avantage à donner aux caisses de criblage une forme conique; l'eau entrant par la grille y prend une vitesse décroissante qui peut faciliter les séparations.

Le premier perfectionnement du crible a été de rendre les caisses fixes et de donner le mouvement à l'eau au moyen d'un piston. La figure 76 indique cette disposition. Les grilles de criblage sont fixes, et un piston plein, situé entre deux caisses de criblage, reçoit un mouvement alternatif, de manière à faire successivement monter et descendre l'eau au-dessus et au-dessous des grilles. Par ce moyen on arrive à un classement beaucoup plus parfait, et l'on peut même cribler des minerais en morceaux de 2 centimètres cubes.

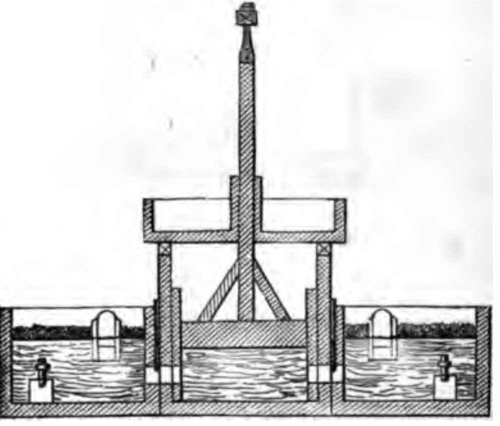


Fig. 76. — Crible à piston.

La construction du crible a été encore perfectionnée par

quantités de minerai, les premiers sont établis simplement pour débarrasser la masse des gangues les plus faciles à expulser. Ce sont des cribles *dégrossisseurs* dont on peut rendre le travail continu.

Le moyen le plus employé pour établir cette continuité du travail consiste à ouvrir, au milieu de la grille du crible, un trou fermé par une soupape. De temps en temps on entr'ouvre légèrement cette soupape de manière à faire écouler une partie des minerais enrichis qui se sont accumulés sur la grille. En opérant ainsi, on laisse passer par la soupape inférieure des minerais encore mélangés avec les gangues les plus denses, mais débarrassés des plus légères. Ces minerais enrichis sont ensuite repassés sur les cribles finisseurs.

Le criblage est un procédé rapide que l'on applique facilement aux grains les plus gros, mais plus difficilement à mesure que le grain devient plus petit.

Les sables peuvent être criblés jusqu'au diamètre d'environ un grain de millet, si la classification a été bien faite ; et l'on doit toujours préférer le criblage, tant que son application est possible, à tout autre procédé de lavage qui est moins sûr et moins expéditif.

Lorsque enfin la finesse des sables métallifères est telle que la liquation cesse de se produire, même en opérant par petites couches, on passe aux procédés de lavage.

On peut d'abord appliquer les *caisses allemandes*.

Ces caisses, que l'on appelle aussi *caisses-tombeaux*, sont rectangulaires ; leurs dimensions ordinaires sont : 3 mètres de longueur, 0m50 à 0m80 de largeur, et 0m40 à 0m90 de profondeur. On leur donne une inclinaison variable suivant la nature du minerai à laver. Leur extrémité est percée dans toute sa hauteur d'une série de trous que l'on peut à volonté ouvrir ou boucher avec des chevilles, de telle sorte que l'on peut faire écouler l'eau successivement à tous les niveaux.

L'eau portant les sables en suspension est amenée en tête de la caisse, sur le chevet, où elle forme une nappe qui tombe et s'écoule sur le fond incliné. L'eau s'écoule par les trous de l'extrémité, et les sables se stratifient sur le fond de la caisse. A mesure que les sables s'accumulent en se stratifiant, le niveau d'écoulement est élevé, et la caisse, soumise à ce courant qui abandonne sur son

fond les sables qu'il tient en suspension, finit par se trouver remplie.

A ce moment, l'ouvrier divise le sable en deux parties : le plus riche, qui est vers le chevet, sera lavé de nouveau ; le pauvre, qui est vers l'extrémité de la caisse, sera rejeté. Le riche est donc repassé, et l'on arrive, par une série d'opérations, à concentrer les parties métalliques de manière à ne plus avoir qu'à en achever le lavage.

Les caisses allemandes sont ainsi employées à préparer les sables en déterminant un premier enrichissement. Elles sont considérées comme des appareils de préparation, et les sables enrichis que l'on en retire sont ensuite passés sur les tables.

Tables à secousses. — Les tables à secousses sont suspendues à quatre poteaux, au moyen de chaînes (fig. 79). Deux de ces chaînes sont inclinées et tendent à appliquer la table vers son chevet, où se trouve un heurtoir. Un arbre à cames étant disposé pour pousser la table en avant par l'intermédiaire d'un système de leviers, elle revient d'elle-même à sa position normale en frappant sur le heurtoir.



Fig. 78.— Chevet distributeur.

Ce mouvement imprime une secousse au minerai, qui coule avec l'eau sur la surface de la table, et tend à le ramener vers la partie supérieure.

Au sommet de la table est un conduit en bois, avec un appareil qui conduit l'eau et le minerai sur un distributeur composé d'une aire triangulaire ou *chevet* (fig. 78), qui répartit uniformément cette eau sur toute la surface de la table.

Le chevet est toujours plus incliné que la table, afin que les sables ne puissent y rester. Celui qui est représenté figure 78 est appliqué non-seulement aux tables à secousses, mais à presque toutes les tables de lavage.

Les tables doivent être pourvues d'appareils alimentaires. Ces appareils sont généralement disposés de telle sorte que l'on puisse, à volonté, amener sur la table de l'eau seule, ou de l'eau entraînant

les sables, et que la distribution une fois réglée, la table s'alimente d'elle-même. Les sables étant, ainsi que l'eau, distribués d'une manière uniforme et continue sur la surface de la table, le mouvement de celle-ci n'empêche pas l'eau d'entraîner les parties légères et ténues, tandis que les parties métalliques, plus denses, restent sur la table et sont ramenées à chaque secousse vers le chevet.

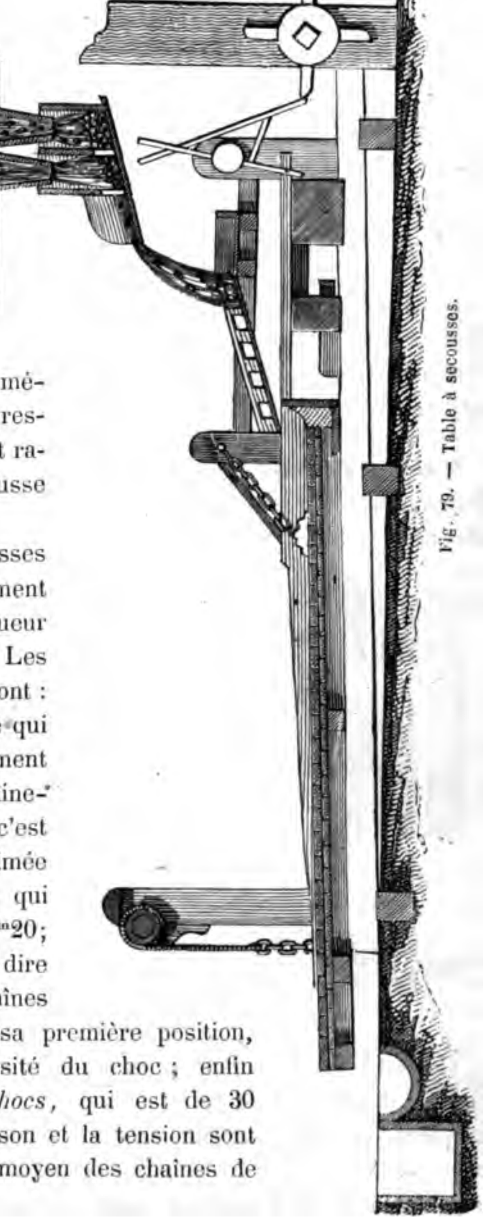


Fig. 79. — Table à secousses.

Les tables à secousses (fig. 79) ont ordinairement de 3 à 4 mètres de longueur sur 1^{m}30 de largeur. Les éléments variables y sont : l'*inclinaison* de la table qui se règle par tâtonnement suivant la nature du minerai ; son *avancement*, c'est-à-dire la course imprimée à chaque oscillation, qui est en moyenne de 0^{m}20; sa *tension*, c'est-à-dire l'inclinaison des chaînes ramenant la table à sa première position, qui détermine l'intensité du choc ; enfin le *nombre de ces chocs*, qui est de 30 par minute. L'inclinaison et la tension sont réglées à volonté au moyen des chaînes de suspension.

Quant à la quantité d'eau dépensée et à la quantité de minerai lavé dans un temps donné, cela est tellement variable et subordonné à la nature du minerai à traiter, qu'on ne peut rien fixer à cet égard.

On peut avec la table à secousses travailler comme avec le caisson allemand. Pour cela, on règle l'inclinaison de la table de manière que l'eau chargée de sables métallifères parcoure la surface de telle sorte que la plus grande partie des grains puisse se déposer dans le trajet. L'action du lavage a dès lors pour résultat d'augmenter incessamment l'épaisseur du dépôt; lorsque cette épaisseur est jugée suffisante, l'ouvrier sépare ce dépôt en trois parties. La partie déposée le plus près du chevet est enrichie quelquefois assez pour être mise en œuvre : la zone moyenne est encore assez métallifère pour être relavée; enfin la dernière partie déposée à l'extrémité de la table est rejetée.

Tables dormantes. — On appelle table dormante une table formant un plan incliné, en tête duquel se trouve un chevet-distributeur (fig. 80).



Fig. 80. — Plan et coupe d'une table dormante.

Ces tables ont en général de 4 à 5 mètres de longueur, 1 mètre à 1m50 de largeur, et 0m 10 à 0m 15 d'inclinaison ; elles ne sont fermées latéralement que par un rebord de quelques centimètres. Au chevet de la table est placé un distributeur d'eau semblable à celui qui est représenté ci-dessus figure 78, qui

l'étend sur toute la surface. Le minerai est amené avec l'eau, ou bien étendu directement sur la table par l'ouvrier.

L'eau entraîne les parties les plus légères, tandis que les parties métalliques sont repoussées et ramenées vers le chevet au moyen d'un râble, pour descendre de nouveau, en se dégageant toujours des parties terreuses. Le travail de l'ouvrier consiste donc à ramener toujours les sables vers le chevet jusqu'à ce qu'il les juge assez concentrés. A ce moment, une première ouverture transversale est dégagée, et le minerai lavé tombe dans une caisse placée sous la table : le dernier schlick, qui est le plus enrichi, est reçu dans une autre ouverture, de sorte que l'on peut aussi faire la séparation du schlick riche, du schlick pauvre et des schlamms.

Les schlamms qui tombent à l'extrémité de la table sont recueillis dans un labyrinthe, en tête duquel on les reprend encore pour les laver de nouveau.

On voit qu'il faut un ouvrier par table, et que le résultat dépendra en grande partie de son degré d'habileté.

Tables à toiles sans fin. — Si l'on examine le mode d'action d'une table dormante, on voit qu'il est basé sur un fait bien simple : lorsque le sable descend sur le plan incliné de la table, les particules métallifères, qui sont les plus lourdes, descendent moins vite que les particules de gangue. Si donc la table était d'une longueur suffisante, les particules métallifères se trouveraient tellement en retard, qu'on serait longtemps avant d'en voir paraître à l'extrémité. L'action du râble, en remontant les sables en mouvement, a pour effet d'allonger en quelque sorte la table et de faciliter la séparation par la différence des vitesses.

Que l'on suppose une toile tendue et maintenue par une série de petits liteaux en bois, animée d'un mouvement régulier qui la remonte vers le chevet (fig. 81). L'action des râbles devient inutile, et l'on peut régler : 1° l'inclinaison de la table qui détermine la vitesse du courant d'eau qui entraîne le sable métallifère ; 2° la vitesse de remonte de la toile, de telle sorte que les particules métallifères ne puissent atteindre l'extrémité de la table. Ces particules remontent vers le chevet, et vont se déposer dans un bac rempli d'eau, lorsque la toile sans fin, retournée par le mouvement, vient y plonger.

Cet appareil ingénieux a été imaginé par M. Brunton. Il est mis en mouvement par une petite roue hydraulique, ainsi que l'indique la figure 81, qui représente la toile mobile sur trois rouleaux et

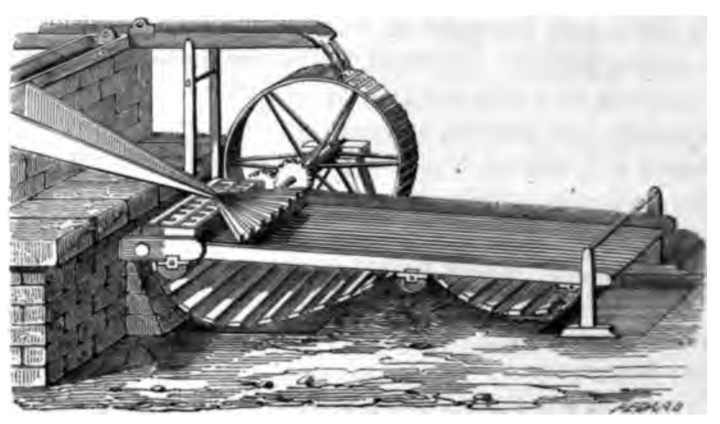


Fig. 81. — Table à toile sans fin.

tous les accessoires. Cette table est complétée par des cuves spéciales de dépôt.

Ce qui est très-difficile dans la préparation des minerais est d'empêcher les boues argileuses des gangues de se déposer avec es schlicks très-fins dont elles altèrent la pureté. Pour empêcher ce mélange, M. Brunton a établi des cuves circulaires entourées de cercles en fer, sur lesquels frappent régulièrement des marteaux. Le mouvement déterminé dans l'eau par le choc des marteaux empêche le dépôt des parties les plus légères et les plus faciles à maintenir en suspension, tandis que les parties les plus lourdes se déposent au fond.

On peut appliquer utilement ces marteaux à toutes les caisses employées pour le dépôt des schlamms, qui sont toujours plus difficiles à laver que les sables fins.

Tables coniques. — C'est au lavage des schlamms que l'on emploie la table conique dite *round-buddle* représentée en plan et en élévation par la figure 82.

C'est un cône surbaissé, au centre duquel se trouve un arbre vertical mis en mouvement par un engrenage ; autour de cet arbre

se trouve un entonnoir qui reçoit le courant d'eau tenant les schlamms en suspension et les versant sur un cône distributeur.

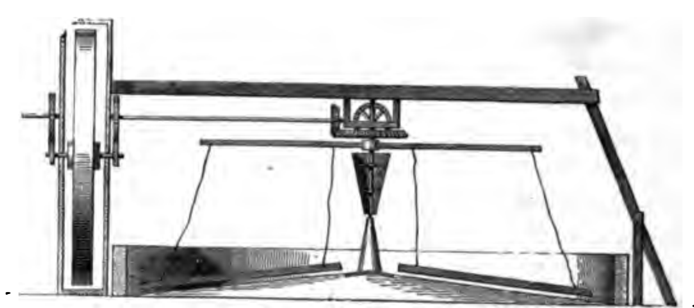
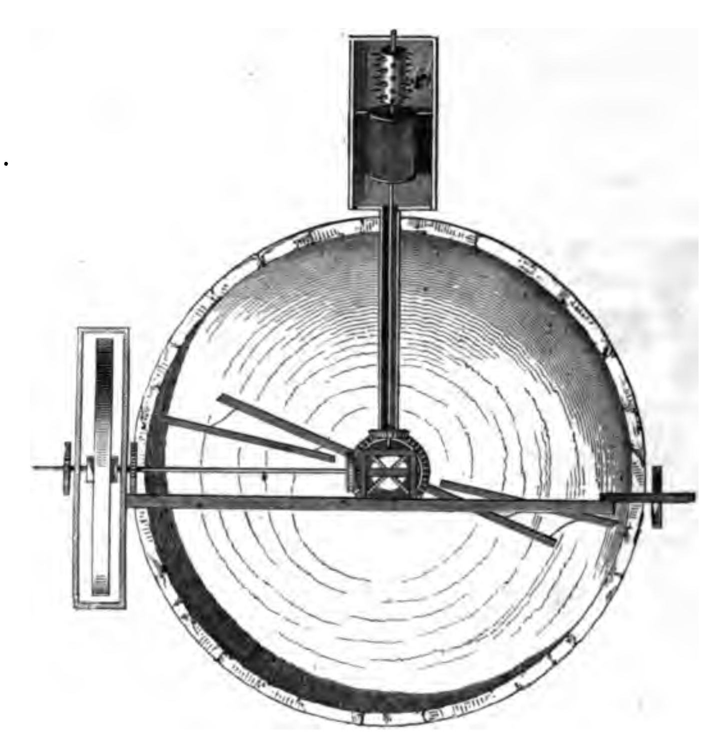


Fig. 82. — Coupe d'un round-buddle.



Plan d'un round-buddle avec distributeur de schlamms.

Le courant dépose les schlamms sur la table conique, et ces dépôts sont incessamment balayés par deux planchettes ou balais

longitudinaux, recevant de l'arbre un mouvement de rotation. Ces balais creusent des sillons circulaires sur le dépôt dont ils agitent la surface, et l'eau, pour gagner la rigole du bas, est obligée de suivre et de franchir ces sillons. Il en résulte une série d'obstacles qui ralentissent l'écoulement des eaux et détermine le dépôt des parties les plus denses.

L'usage des *round-buddles* s'est répandu d'une manière générale dans tous les ateliers de lavage, et, comme pour tous les appareils de préparation mécanique, on a cherché à les perfectionner en leur donnant des formes plus précises, de manière à obtenir des effets plus certains.

En Allemagne, on a établi des tables tournantes qui participent à la fois du round-buddle et de la table dormante.

Dans les round-buddles anglais, soit que l'axe tourne avec ses brosses, ainsi qu'il est précédemment indiqué, soit que l'on fasse tourner la table elle-même, la matière livrée au centre de l'appareil, vers son point culminant, descend, en s'épanouissant, vers la circonférence, entraînée par le courant d'eau, de sorte que les matières riches, c'est-à-dire les plus lourdes par conséquent, sont retenues en formant une couronne autour du sommet, tandis que les matières légères et pauvres sont emportées vers la circonférence extérieure.

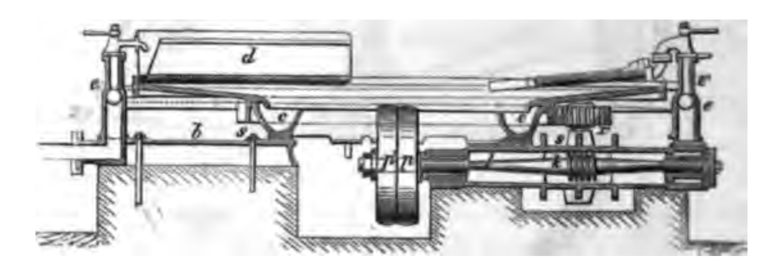


Fig. 83. — Coupe d'une table tournante.

Depuis l'invention du round-buddle anglais, M. Hündt, ingénieur au pays de Siegen, a imaginé, sous le nom de table-entonnoir, un appareil dans lequel la marche des matières est complètement inverse.

C'est un cône concave sur lequel les matières à traiter sont livrées

vers le pourtour de la circonférence pour être entraînées au centre où se trouve un vide annulaire par lequel les stériles peuvent s'échapper.

Ces tables tournantes ont eu pour but principal de transformer la marche intermittente du round-buddle en une action continue. Leur première application a été affectée à la reprise de matières fines et pauvres, réfractaires à l'action des round-buddles et des tables à secousses ; le jeu continu des tables tournantes, en supprimant toute main-d'œuvre, a permis l'enrichissement de ces résidus.

Les tables tournantes sont construites en France par MM. Huet et Geyler, dans les conditions spécifiées par le plan et la coupe,

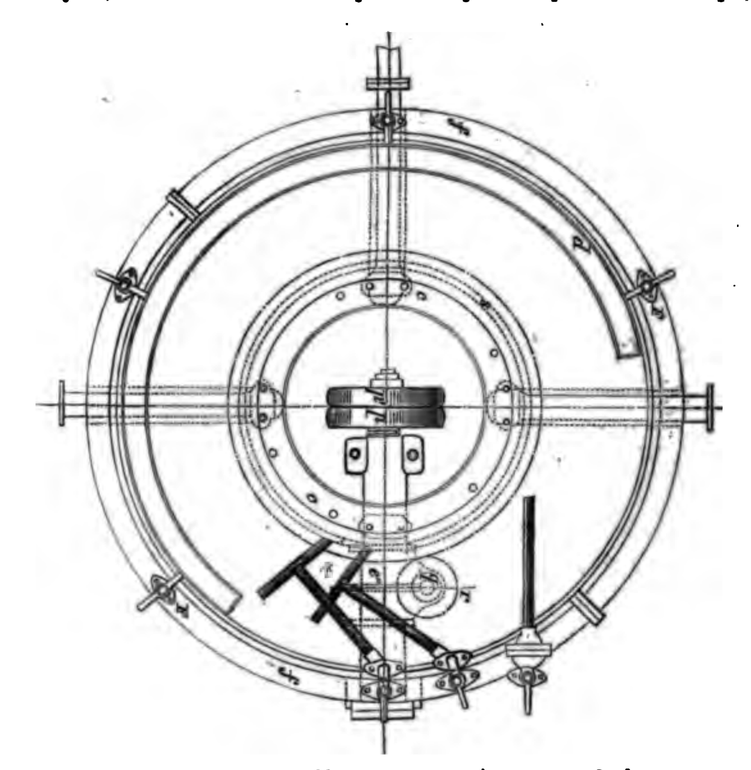


Fig. 84. — Plan d'une table tournante, système Huet et Geyler.

figures 83 et 84. Nous extrayons le passage suivant de la description qu'ils en ont donnée.

« La plaque de fondation B porte la rigole d'écoulement C, le tuyau d'alimentation F qui fait le tour de la table et sur lequel sont branchés les bras distributeurs *f, f, f*; enfin, cette plaque de fondation reçoit encore une vis sans fin K, prise sur l'arbre L, ainsi que des poulies P et P', l'une folle et l'autre fixe, pour transmettre à la table le mouvement venant directement de la transmission générale.

« La rigole d'écoulement C est munie d'une portée venue de fonte avec elle, et régnant sur tout son pourtour, tandis que la table proprement dite A porte à sa circonférence interne une autre portée femelle, par laquelle elle repose sur la rigole d'évacuation.

« Un engrenage S, venu de fonte avec la table, accompagne la portée M; il engrène avec un pignon R placé sur un petit arbre vertical Q, lequel reçoit le mouvement de la vis sans fin K par un engrenage. Tous les tuyaux de lavage sont articulés à rotules. »

Crible continu à grilles filtrantes. — Les appareils de préparation mécanique sont sujets à tant de modifications dans les détails de leur construction et de leur marche qu'on ne saurait en décrire tous les détails; l'étude directe des ateliers peut seule les faire apprécier.

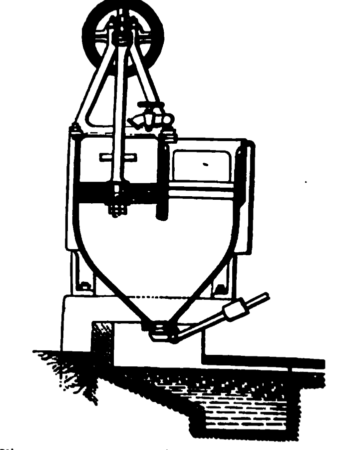


Fig. 85. — Coupe du crible à grille filtrante.

Parmi les appareils nouveaux, nous citerons seulement les cribles continus à grilles filtrantes de MM. Huet et Geyler; nous les avons vu fonctionner et nous pensons qu'ils seront d'une application très-utile. Nous empruntons leur description à une note qui nous a été remise par les inventeurs.

« Qu'on imagine un crible à piston ordinaire dont la cuve se terminerait par une pyramide quadrangulaire au sommet de laquelle se trouverait une soupape, ainsi que l'indique la coupe transversale, figure 85, on aura une idée parfaitement exacte de l'ensemble du *crible rapide à grilles filtrantes.*

« Un appareil est composé d'une série d'éléments semblables à celui qui vient d'être défini ci-dessus ; cette série étant disposée ainsi que l'indique la figure 86.

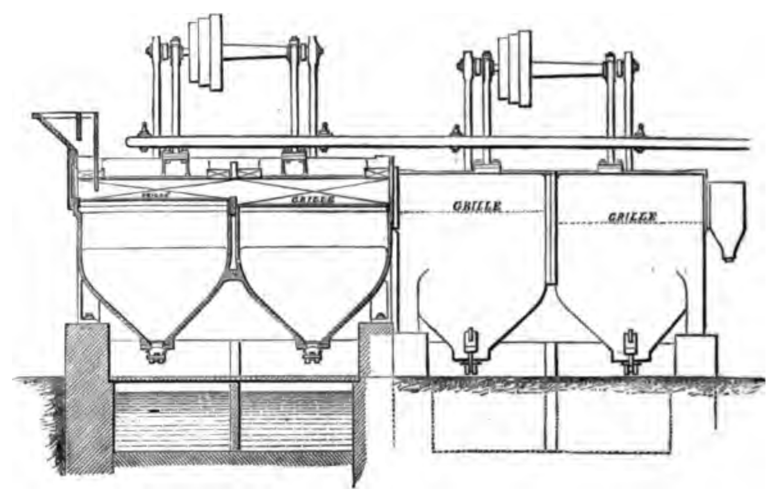


Fig. 86. — Coupe longitudinale d'une série de cribles à grilles filtrantes.

« Les cuves des pistons sont égales aux cuves des grilles de travail, elles ont 0m400 × 0m800.

« Le mouvement est donné aux pistons par des tiges-bielles dont les mouvements sont indépendants et variables à volonté à l'aide d'un petit plateau manivelle.

« La course des pistons peut varier de 0m001 à 0m040. Le nombre de coups est de 100 à 300 par minute.

« L'eau est livrée à l'appareil par des robinets qui déversent le liquide sur chaque piston. On règle leur débit en raison de la nature de la matière à laver et de la grosseur de ses fragments.

« L'eau circule sur les grilles dans le sens de leur longueur et s'échappe de l'appareil par un déversoir.

« La consommation d'eau est d'enviren 10 litres par chaque robinet et par minute.

« La matière à traiter est livrée à l'appareil à l'extrémité opposée à celle de l'entrée de l'eau. Le courant liquide sert à son entraînement, elle passe donc successivement d'une grille à l'autre, avant d'être rejetée au dehors.

« Les grilles de travail sont séparées entre elles par des déversoirs dont la hauteur peut varier pour limiter l'épaisseur de la matière à retenir sur les grilles.

« Suivant qu'on doit laver des matières d'une composition plus ou moins complexe, on emploiera un seul appareil à deux compartiments, ou plusieurs appareils à deux compartiments accolés les uns à la suite des autres.

Voici maintenant le principe sur lequel est basé le fonctionnement du crible à grilles filtrantes.

« *Lorsque des matières et fragments de grosseurs à peu près les mêmes et de densités différentes sont en mélange dans un liquide et qu'on les y met en suspension à l'aide d'oscillations verticales très-rapides, elles se rangent dans ce liquide par rang de densité, de manière à former des strates ou lits superposés absolument comme le feraient des liquides; et si sur ces couches en suspension on jette une poignée de grains du mélange primitif, on voit que chaque lit se laissera facilement pénétrer par tous les grains d'une densité supérieure ou égale à la sienne, tandis qu'il opposera une très-forte résistance et s'opposera au passage de tous les grains d'une densité moindre.*

« L'appareil décrit ci-dessus utilise pratiquement ce principe et opère avec la plus grande facilité la séparation des matières dissemblables comme densité.

« En effet, qu'on dépose sur la première grille du crible une couche de grains trop gros pour pouvoir passer par les trous de la grille; que sur cette couche ou lit de travail on répande un mélange de grains plus petits que les trous de la grille, mélange composé de matière identique à celle que compose le lit, et d'une matière de densité moindre, et qu'on mette l'appareil en jeu : immédiatement on verra le lit laisser passer entre les grains qui le forment les grains plus petits de la même matière; ces petits grains se faufileront peu à peu du haut en bas, arriveront sur la grille, et, y trouvant des trous plus grands qu'eux, ils passeront par ces trous et tomberont au fond de l'appareil d'où on pourra les retirer par la soupape.

« Les grains de densité moindre auront au contraire été repoussés par le lit de travail; ne pouvant le pénétrer, ils formeront au-dessus de lui une couche qui ira sans cesse en s'accroissant, à

mesure qu'on fera arriver du mélange dans l'appareil, et il arrivera un moment où, à cause de l'épaisseur qu'elle prendra, cette couche finira par déborder et sortira alors de l'appareil, de telle sorte que la séparation se fera d'une manière continue.

Ainsi donc.

Un crible doit être muni de grilles dont les vides seront plus grands que les grains qu'il s'agit de traiter.

Sur ces grilles on déposera des lits de densités convenables, mais de grains plus grands que la perforation de ces grilles.

« L'épaisseur des lits varie en raison directe de la grosseur des grains à traiter.

« Le nombre des coups de piston est en raison inverse de la grosseur des grains. La course du piston est en raison directe de la grosseur des grains.

« On peut, avec le crible rapide à grilles filtrantes, traiter des grenailles de 10 à 15 millimètres, aussi bien que les poussières les plus fines ; de telle sorte que l'on arrive aujourd'hui à supprimer, dans les laveries, tout l'outillage compliqué des tables, pour employer en toutes circonstances et pour toutes les matières quelles qu'elles soient, seulement le crible de grilles filtrantes.

« Les avantages qu'on en retire sont les suivants :

1° Outil unique;

2° Diminution de main-d'œuvre, par conséquent économie notable ;

3° Rendement considérable de l'outil, ce qui tend à diminuer le matériel et par conséquent les frais de première installation ou bien de faire plus avec une dépense déterminée.

4° Production de matières à une teneur plus élevée, à cause de la sensibilité de marche de l'appareil ;

5° Possibilité de travailler des matières excessivement pauvres que les autres outils étaient impuissants à traiter avec bénéfice.

6° Enfin l'appareil peut être soumis à toutes les irrégularités dans sa marche ou son alimentation, sans que la production en soit sensiblement influencée, qualité énorme, si on se rappelle toutes les difficultés que présentent les tables, à cause de l'obligation où l'on est de les alimenter d'une manière continue et régulière, tant en eau qu'en matière, et de la nécessité de les faire marcher à une vitesse régulière, à peine de perdre tout le travail d'une journée.

« Une table, quelle qu'elle soit, qui marche bien, passe en une journée au plus 2,000 à 2,500 kilogrammes.

Un crible rapide, dans le même temps, passera des mêmes matières 10 et même 15,000 kilogrammes. Pour les poussières les plus fines et et les plus difficiles, sa faculté de travail ne s'abaisse que rarement au chiffre de 2,500 kilogrammes.

« Enfin la séparation des minéraux les plus complexes s'y opère aussi complétement qu'on peut le désirer, et l'isolement de la blende ou de la baryte, de la galène s'obtient malgré un classement très-peu soigné, relativement à ce qui était exigé des appareils antérieurement usités.

« Un seul outil dans une petite exploitation peut donc satisfaire à toutes les exigences, à la condition de marcher un jour pour une matière et un jour pour une autre. Pour cela il suffira de changer les grilles et de régler les diverses variations dont la nomenclature a été donnée plus haut.

« Comme exemples on peut citer les résultats suivants :

« Un quartz aurifère, envoyé du Chili, broyé fin, a donné à l'essai une teneur brute de 117 grammes d'or : soumis au lavage dans un appareil à deux compartiments, on a obtenu deux classes dans les cuves et une de rejets.

« Ces trois classes essayées par le même chimiste ont donné :

« Première cuve, teneur en or : 1^{k}370.

« Deuxième cuve, teneur en argent : 0^{k}200.

« Rejets : stérilité complète.

« En résumé, de onze tonnes on en a fait une. »

Cette description des auteurs de l'appareil nous paraît d'autant plus intéressante, qu'elle introduit un principe nouveau dans la préparation mécanique des minerais.

CONDITIONS ÉCONOMIQUES DE LA PRÉPARATION DES MINERAIS

Les diverses opérations de la préparation des minerais exigent l'étude la plus minutieuse de toutes les propriétés minéralogiques des gangues et des minerais. Pour organiser les premiers cassages et triages à la main, le choix des outils qui doivent être

employés et les dispositions de l'installation dépendent des conditions de dureté et de clivages des substances minérales, et de leur adhérence entre elles; il en est de même lorsqu'il s'agit de choisir les appareils de broyage.

Pour la classification et le lavage, la forme des grains de gangues et de minerais, leurs formes aiguës, aciculaires, tranchantes ou granulées à surfaces lisses, ont une influence notable sur le choix des appareils et sur les tours de main du travail. Cette étude des propriétés de chaque substance minérale constituant les gangues ou les minerais peut conduire à des procédés utiles. L'exemple le plus frappant que nous puissions citer à cet égard est la séparation de la baryte sulfatée des minerais de cuivre gris auxquels elle sert de gangue en Algérie.

La pesanteur spécifique de la baryte sulfatée est 4.40, celle du cuivre gris est 4.60; il n'y a donc pas possibilité d'en séparer le minerai par les procédés habituels. Mais la baryte sulfatée cristalline a une propriété toute spéciale, elle décrépite au feu. Si donc on soumet à la chaleur rouge sur la sole d'un four à reverbère les sables grossiers préalablement classés, la décrépitation agit sur la baryte sulfatée jusqu'à la réduire à l'état pulvérulent.

Le cuivre gris resté en grains dans cette poussière très-fine, peut être facilement isolé par une lévigation qui entraîne la baryte sulfatée à l'état de schlamm, soit même pour un simple tamisage. Ce procédé a été appliqué avec succès à la préparation du cuivre gris des filons barytiques de Mouzaïa, en Algérie.

•

Le lavage des minerais, lorsqu'on est arrivé à un certain degré de concentration, cesse d'être avantageux, c'est-à-dire que les dépenses de lavage et surtout les pertes croissantes de minerai entraîné avec les gangues, deviennent plus coûteuses que ne le serait le traitement métallurgique ou le transport sur un marché de minerai. Ces proportions toutefois ne peuvent être déterminées que d'après des circonstances locales tenant à la fois de la nature du minerai, des frais de préparation et du prix du métal. C'est ainsi qu'en Cornwall on ne pousse pas la richesse des schlicks de cuivre au delà de 8 pour 100; dans une contrée où le traitement métallurgique serait plus coûteux, on devrait pousser la concentration plus loin. A Pontgibaud, on a reconnu que la préparation

mécanique des galènes argentifères ne devait pas dépasser le titre de 30 à 40 pour 100 de galène dans les schlicks.

Les dépenses de préparation mécanique avec moteur hydraulique peuvent être évaluées, dans les conditions les plus ordinaires, de 7 à 10 francs pour chaque mètre cube de minerai en morceaux, tel qu'il sort de l'opération du cassage et du triage.

Les frais sont naturellement très-variables, suivant la richesse des minerais, la nature des gangues et le degré de richesse auquel on pousse les schlicks ; ils consistent d'ailleurs, pour la majeure partie, en frais généraux d'établissement, d'entretien du moteur et du matériel, car les dépenses immédiates sont toujours très-faibles. Pour la plupart des minerais, tenant galène ou oxyde d'étain, soumis à la préparation mécanique, cette dépense immédiate est à peine de 2 à 3 francs par mètre cube.

Pour fixer les idées d'une manière plus précise, nous prendrons pour exemple les minerais d'étain de la Saxe, sur lesquels M. Manès a réuni des documents très-précis et très-étendus à l'époque où l'exploitation était encore très-active. Ce sont des minerais pauvres, dans lesquels l'oxyde d'étain est finement disséminé dans des gangues dures qu'on est obligé de bocarder fin, et qui ne fournissent au lavage que schlicks contenant 30 pour 100 d'étain.

Les proportions sont établies par le tableau suivant indiquant le prix de revient de l'étain aux mines de Geyer.

Mètres cubes de minerais	7,54
Frais d'exploitation	148,30 fr.
Schlick retiré	100 kil.
Transport et préparation mécanique	114,20
Traitement métallurgique	2,80
Total des frais par quintal d'étain	264,70

L'importance des frais de préparation mécanique peut seule déterminer à abattre tel ou tel massif de minerai dont la teneur est très faible. On a donc cherché à diminuer ces frais autant que possible. A cet effet, on a comparé avec le plus grand soin les deux méthodes de lavage par les tables à secousses et par les tables dormantes recouvertes de toiles. Ces deux méthodes ont été l'objet

d'expériences spéciales faites dans deux usines d'Altenberg; les résultats en ont été consignés dans les tableaux suivants :

MINERAI passé au bocard.	HEURES de bocardage.	NOMBRE de flèches.	FRAIS DIRECTS DE BOCARDAGE en totalité.	FRAIS DIRECTS DE BOCARDAGE par tonne.
1232 tonnes.	3192	24	228	0,185
1207	3192	24	251	0,207

Ces mêmes quantités, soumises aux deux procédés de lavage, ont donné les résultats suivants :

MAIN-D'ŒUVRE.	HEURES de lavage.	SCHLICK OBTENU en totalité.	SCHLICK OBTENU par tonne.	FRAIS DE LAVAGE en totalité.	FRAIS DE LAVAGE par tonne de minerai.	FRAIS DE LAVAGE par tonne de schlick.
6 ouvriers, à 2 tables à secousses . . .	2442	7497 kil.	6,83 kil.	888	0,720	118,40
8 ouvriers, à 2 tables dormantes à toiles	2706	6881 »	6,69 »	988	0,818	143,70

Il est résulté de ces essais comparatifs qu'aux tables à secousses le travail se fait plus vite, dans le rapport de 6 à 5, que sur ces mêmes tables les frais de préparation sont moindres dans le rapport de 10 à 16, enfin que le schlick obtenu sur les toiles est plus pur dans la proportion de $\frac{1}{20}$.

Il est à remarquer, en ce qui concerne les quantités de minerai bocardées et passées sur les tables, et les quantités de schlick obtenues, que les minerais des mines d'Altenberg étaient très-durs et tenaces, et que l'oxyde d'étain s'y trouvait en particules tellement petites que ces minerais devaient être bocardés très-fins, les schlicks obtenus étant en poudre presque impalpable.

Dans les vallées d'Eybenstock, dans l'Erzgebirge, on a exploité

par lavage des alluvions formées des roches granitiques et schisteuses parmi lesquelles se trouvaient des galets riches en oxyde d'étain et des grains du même minerai disséminés dans les sables fins. On y a établi des seyffenverk ou ateliers de lavage, et l'un d'eux, d'après M. Manès, était, pour la production de l'étain, dans les conditions suivantes :

Frais de main-d'œuvre des ouvriers laveurs.	1825 fr.
Surveillance des maître laveurs.	640
Triage du galet et transport au bocard	299
Frais de préparation mécanique pour le bocardage et le lavage des galets.	325
Frais des consommations en bois, fer, outils . . .	429
Frais de fonte de schliks obtenus.	414
Frais généraux	1345
	5277

Le produit de cette dépense fut de 1951 kilog. d'étain, dont le prix de revient fut ainsi de 2 fr. 72 le kilog.; prix qui ne laissait aucun bénéfice.

Ces exemples pourraient être multipliés ; nous nous bornerons à ceux-ci, pris parmi des minerais qui se trouvent à la limite de la richesse nécessaire, de manière à mettre en évidence l'importance que peut avoir un perfectionnement introduit dans les procédés d'exploitation ou de préparation.

Les préparations mécaniques auxquelles on soumet les minerais pour les enrichir n'ont pas seulement pour but de diminuer les frais du traitement métallurgique, souvent aussi elles sont nécessitées par la question des transports. Ainsi, comme il est peu de filons dont les produits puissent suffire seuls à alimenter une fonderie, il en résulte que, dans les exploitations isolées, on est obligé de construire une fonderie qui ne peut marcher que pendant quelques mois de l'année, et qui, pendant les temps de chômage, grève l'entreprise de frais inutiles, en intérêt d'argent et en personnel. Comme d'ailleurs la construction et l'organisation d'une fonderie sont toujours très-dispendieuses, beaucoup de petites exploitations qui ne peuvent supporter cette charge, se trouveraient dans

des conditions de développement très-difficiles, si ce n'est impossibles.

Dans les districts métallifères où il existe un grand nombre de gîtes disséminés, on a construit des fonderies centrales qui reçoivent les minerais de toutes les exploitations groupées autour d'elles, et qui, pouvant être alimentées toute l'année, travaillent avec une réduction considérable de frais. Ces fonderies centrales favorisent l'exploitation des plus petits gîtes dans les districts métallifères, puisqu'elles peuvent acheter jusqu'aux moindres lots de minerais.

La préparation mécanique, en permettant d'enrichir les minerais jusqu'au titre qui rend leur transport facile, leur a donné une valeur commerciale.

Dans la plupart des districts métallifères, les schlicks à vendre sont transportés en un point déterminé et sont annoncés dans les journaux; les acheteurs arrivent au jour fixé pour la vente et trouvent ces schlicks en tas réguliers et cubés. Les tas sont ouverts dans le milieu et retournés dans leurs diverses parties pour former une moyenne; cette moyenne est pilée, tamisée, et des échantillons sont mis dans des sacs cachetés. Les essais sont faits sur ces échantillons par chaque partie intéressée : le vendeur, l'acheteur et les maîtres mineurs, qui doivent très-souvent percevoir une prime proportionnée à la richesse. On déduit d'abord l'humidité du schlick pour avoir le poids réel, puis on en dose le métal; en cas de dissentiment sur les résultats de l'analyse chimique, un des échantillons est mis en réserve pour être analysé par un tiers.

La proportion du métal ou des métaux contenus dans un minerai étant déterminée, il ne reste plus, pour établir le prix du minerai, qu'à calculer la valeur des métaux et à en retirer les frais de traitement métallurgique. Le prix des métaux varie et les frais de traitement des minerais varient également, suivant les prix du combustible, de la main-d'œuvre et suivant la nature des gangues; aujourd'hui néanmoins le prix des minerais tend à se niveler de plus en plus par la facilité des communications. L'Angleterre est le marché principal sur lequel les minerais sont transportés et vendus; mais, depuis quelques années, il s'est formé en France

des établissements qui traitent également les minerais de diverses provenances.

Les tableaux ci-joints indiquent les prix des galènes argentifères dans une fonderie du Nord de la France. Ces minerais ont été divisés en deux classes, les uns à gangue calcaire prédominante, les autres à gangue quartzeuse, afin de bien mettre en évidence toutes les conditions qui peuvent faire varier leurs prix.

Les minerais annexés à la galène sont supposés au-dessous de 5 pour 100. Une proportion supérieure ferait rapidement baisser le prix des minerais, condition qui démontre encore l'importance de la préparation mécanique.

Minerais sulfurés (galène) à gangue calcaire prédominante, contenant moins de 5 pour 100 de blende, arsenic ou antimoine, séparés ou réunis.

TENEUR PAR 1000 KILOG.		PRIX des 1000 kilog.		TENEUR PAR 1000 KILOG.		PRIX par 1000 kilog.	
Plomb.	Argent.			Plomb.	Argent.		
kil.	gr.	fr.	c.	kil.	gr.	fr.	c.
200	»	»	»	500	200	176	50
»	100	8	50	550	»	192	»
»	200	29	50	»	160	192	60
250	»	27	»	»	200	201	»
»	100	33	»	600	»	214	»
»	200	54	»	»	170	214	30
300	»	54	50	»	200	220	60
»	100	57	70	»	300	241	60
»	200	76	50	650	»	247	»
350	»	82	»	»	200	250	»
»	100	82	»	»	300	271	»
»	200	103	»	700	»	274	»
400	»	109	50	»	200	274	»
»	120	112	35	»	300	295	»
»	200	129	15	750	»	302	»
450	»	137	»	»	250	309	50
»	130	137	30	»	300	320	»
»	200	152	»	800	»	329	50
500	»	164	50	»	200	344	50
»	150	166	»	»	400	365	50

Minerais sulfurés (galène) à gangue quartzeuse prédominante, contenant moins de 5 pour 100 de blende, arsenic ou antimoine, séparés ou réunis.

TENEUR PAR 1000 KILOG.		PRIX des 1000 kilog.		TENEUR PAR 1000 KILOG.		PRIX des 1000 kilog.	
Plomb.	Argent.			Plomb.	Argent.		
kil.	gr.	fr.	c.	kil.	gr.	fr.	c.
250	»	»	50	500	300	197	30
»	100	8	30	600	»	193	»
»	200	29	30	»	200	200	80
300	»	28	»	»	300	221	80
»	100	28	»	650	»	220	50
»	200	49	»	»	200	225	30
350	»	55	50	»	300	246	30
»	150	67	80	700	»	248	»
»	300	99	30	»	200	249	80
400	»	83	»	»	300	270	80
»	200	102	80	750	»	275	50
»	300	123	80	»	300	295	30
450	»	110	50	»	400	316	30
»	200	127	30	800	»	303	»
»	300	148	30	»	300	319	80
500	»	138	»	»	400	340	80
»	200	151	80	»	500	361	80
5 »	300	172	80	»	600	382	80
50	»	165	50	»	700	403	80
»	200	176	30	»	800	424	80

Si les minerais au lieu d'être sulfurés sont carbonatés, la tonne augmente de 15 francs.

Pour les proportions d'argent supérieures à celles qui sont indiquées dans ces tableaux, il suffit d'ajouter au prix de la tonne de minerai 21 fr. par chaque 100 grammes d'augmentation dans le titre.

Le calcul pour établir la valeur des minerais se complique quelquefois d'usages locaux. Ainsi pour les minerais de cuivre, ce sont les usines de Swansea, dans le pays de Galles, qui établissent les

cours, et les prix des minerais importés se calculent de la manière suivante :

On suppose un prix constant, pour le traitement d'une tonne de minerai, quels qu'en soient le titre et la composition ; ce prix constant, qui constitue ce que l'on appelle les *charges* du minerai, est fixé à 69 fr. 50 cent. par tonne.

Le prix du cuivre varie ; mais ce qui le fait principalement varier lorsqu'on estime du minerai, c'est la qualité de ce minerai et de ses gangues. Ces variations sont réunies par une seule estimation qui est ce que l'on appelle le *standart* du minerai.

Après avoir déterminé le titre d'un minerai et examiné la nature de sa composition, les acheteurs l'évaluent, par conséquent, en donnant un prix au cuivre contenu. Ainsi le standart sera plus élevé pour des carbonates ou des oxydes que pour des pyrites ; il sera plus élevé pour des pyrites pures que pour les minerais gris arsénifères ou antimonifères. Enfin, certaines gangues, telles que le spath-fluor, pouvant servir de fondant, donnent aux minerais une plus-value, tandis que d'autres les déprécient.

Il résulte de ces divers éléments et de cette méthode de calcul que l'on applique à certains minerais, un standart plus élevé que le prix courant du cuivre ; cela tient non-seulement aux qualités du minerai, mais à ce que le chiffre de 69 fr. 50 cent. pour les charges est un chiffre beaucoup trop élevé pour les minerais pauvres, tandis qu'il est normal pour les minerais riches. Ce fait, qui semble d'abord une anomalie, s'explique en ce que, pour les minerais pauvres, les frais de grillage de mattes et de raffinage exercent peu d'influence sur le prix de la tonne, tandis qu'ils sont considérables lorsqu'on les rapporte à une tonne de minerai riche.

Ceci expliqué et le standart admis, rien de plus simple que le calcul de la valeur du minerai.

Supposons, par exemple, un minerai dont le titre est de 8 pour 100 et le standart fixé à 2,500 fr., chaque tonne contiendra 80 kilogrammes de cuivre, c'est-à-dire une valeur de 240 fr. Déduisant les charges de 69 fr. 50 cent., reste une valeur de 150 fr. 50 cent. à la tonne de minerai.

Pour la même nature de minerai, si le titre était de 15 pour 100, le standart tomberait à 2,000 francs.

LAVAGE DE LA HOUILLE

La préparation mécanique s'applique dans beaucoup de cas aux houilles menues, pour les débarrasser des poussières et des fragments schisteux qui en altèrent la pureté. Cette préparation est surtout nécessaire pour les houilles menues destinées à la fabrication du coke, à la forge et à la fabrication des agglomérés ou péras artificiels.

C'est par le lavage que l'on opère, en se basant sur la densité des parties terreuses, toujours supérieure à celle de la houille. Dès l'année 1838, M. Ract-Madoux, ingénieur aux mines de Bert, soumettait les houilles menues à un lavage dans des caisses à courant d'eau continu. Ces caisses étaient barrées par une contre-pente au chevet, et plus loin par des planchettes que le courant d'eau franchissait avec la houille, tandis que les schistes s'y arrêtaient. La houille lavée se rassemblait ainsi à l'extrémité de la caisse, tandis que les pierres restaient vers le chevet. Ce procédé est encore employé sur beaucoup de houillères qui ont une grande quantité d'eau à leur disposition ; il est, en effet, très-simple et exige peu de frais de premier établissement, condition que l'on ne doit pas perdre de vue lorsqu'il s'agit de laver une matière qui n'a que peu de valeur et pour laquelle la plus-value résultant du lavage est également très-faible.

On a établi, quelques années après, dans le bassin de la Loire, des *lavoirs à piston* ou *cribles* dont l'usage s'est répandu promptement. Ce crible est représenté par la figure 87, ci-après.

Un piston met l'eau en mouvement et agit comme dans les cribles hydrauliques appliqués aux minerais. Seulement la caisse à laver a de $1^{m}30$ à $1^{m}50$ de côté, et elle est munie d'une grille à barreaux très-écartés, placée à $0^{m}12$ au-dessus de la claie ou de la toile métallique sur laquelle sont déposés les menus à laver.

La charge déposée dans la caisse à laver dépasse la grille supérieure. Le mouvement étant donné au piston, la charge est soulevée par l'eau, les pierres gagnent le fond, et l'ouvrier, en rasant avec la pelle la grille supérieure, est certain de n'enlever que la

houille lavée. L'opération se continue ainsi par charges successivement mises, lavées et recueillies jusqu'à ce que les pierres aient rempli tout l'intervalle compris entre les deux grilles. On enlève alors la grille supérieure et on rejette les pierres.

Un ouvrier, faisant lui-même tout le service de la houille et donnant le mouvement au piston, peut laver de 50 à 60 hectolitres par journée de 10 heures de travail.

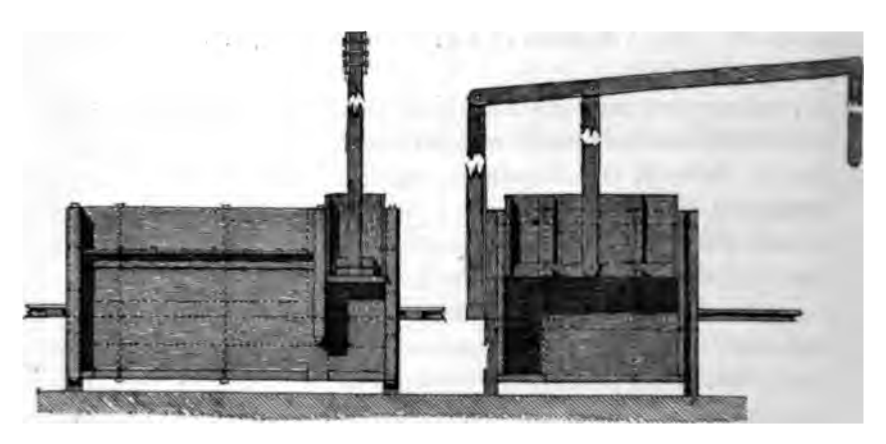


Fig. 87. — Crible à piston pour le lavage de la houille.

Il était naturel de chercher à établir les manutentions du lavage par des moyens mécaniques de manière à supprimer les frais et les lenteurs de la main-d'œuvre.

L'appareil Bérard a le premier satisfait à ces conditions. Il se compose de grands cribles à pistons mus par une machine à vapeur qui donne également le mouvement aux organes mécaniques nécessaires au service.

Cet appareil n'est pas le seul qui soit appliqué au lavage de la houille, et celui de M. Meynier, établi à Brassac (Puy-de-Dôme), nous paraît résumer les conditions des divers appareils mécaniques avec quelques perfectionnements essentiels. La planche XXIII représente la coupe de ce lavoir.

L'appareil Brassac se compose de deux caisses à laver juxtaposées. La toile métallique du fond est inclinée vers une soupape qui permet de laisser tomber les schistes dans un compartiment

spécial ; quant à la houille lavée, elle est rejetée au dehors, avec l'eau, sur un déversoir incliné, également en toile métallique.

Un corps de pompe fournit l'eau aux deux caisses ; il l'aspire dans un bassin inférieur et la rejette sur le déversoir avec la houille lavée.

C'est le mode d'action de ce corps de pompe qui constitue le perfectionnement introduit par M. Meynier. Dans les caisses ordinaires c'est toujours la même eau qui monte et descend ; il en résulte que la charge à laver, d'abord soulevée par le refoulement de l'eau, est ensuite rabattue sur la grille par l'oscillation inverse. Ce mouvement de rabatage contrarie évidemment la liquation des schistes, tandis que le mouvement d'expulsion de l'appareil Meynier aide au contraire la séparation des fragments de houille.

L'appareil Meynier a été le point de départ d'un grand nombre de dispositions analogues, c'est-à-dire dans lesquelles un courant d'eau intermittent, lancé à travers les charbons, opère le criblage des parties schisteuses les plus denses qui tombent progressivement au fond, tandis que les charbons, toujours plus légers que les schistes, sont entraînés au dehors par l'eau en excès, tels sont les lavoirs Revollier, Coppée, etc.

Le concours de ces lavoirs ingénieux conduit à utiliser pour la forge et le coke des menus qui n'avaient que des emplois inférieurs. Le déchet éprouvé au lavage varie naturellement suivant le degré de pureté des menus ; il est en général de 10 à 15 pour 100.

M. Evrard a construit des lavoirs qui jouissent d'une faveur méritée. Ce sont d'immenses bacs à pistons. Le piston placé au centre, met l'eau en mouvement à travers une grille qui a la forme d'une zone circulaire, dont le plan est incliné. La houille répandue sur la surface de cette zone, au moment où elle entre dans l'eau oscillante, en sort lavée, après une révolution.

M. Evrard est le premier qui ait établi des lavoirs pour les schlamms de houille. Il opère ce lavage dans un appareil à piston, mais après avoir *demouré* les schlamms, c'est-à-dire les avoir débarrassé des *moures* agglutinantes par un courant d'eau ascendant.

Le principe des courants d'eau ascendants a été utilisé dans le même but, au moyen d'un lavoir spécial employé en Belgique, dont la figure 88 indique la disposition.

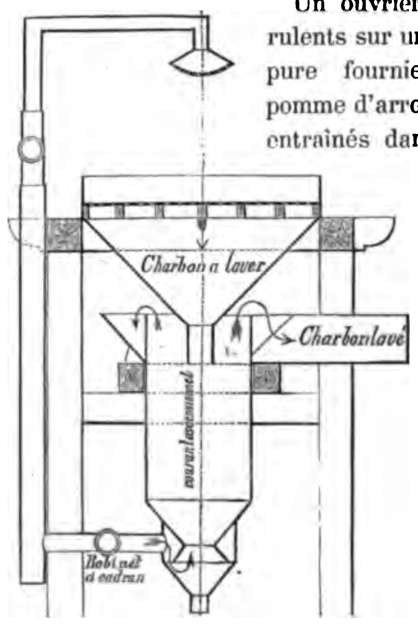


Fig. 88. — Lavoir de Schlamms.

Un ouvrier délaye les charbons pulvérulents sur un tamis, sous une pluie d'eau pure fournie, sans pression, par une pomme d'arrosoir. Ces charbons fins sont entraînés dans une trémie par l'eau qui traverse le tamis tandis que les morceaux trop volumineux et les matières étrangères sont retenues sur la grille.

L'appareil de lavage proprement dit se compose d'un barillet cylindrique, terminé à sa base par une partie conique. Par celle-ci s'introduit, dans l'axe de l'appareil, un courant ascensionnel d'eau pure dont l'énergie est réglée au moyen d'un robinet à cadran.

L'eau s'écoule par-dessus bord et par un orifice inférieur dont le diamètre est plus petit que l'ouverture du robinet.

Les schlamms délayés tombent par la trémie et rencontrent le courant ascendant. Les matières légères et fines, composées en majeure partie de charbon, se séparent des parties plus lourdes et plus volumineuses, composées principalement de pierres. Les charbons subissent ainsi un lavage d'où résulte, d'une part, du charbon plus ou moins pur, qui s'écoule par-dessus bord, et des matières stériles auxquelles leur poids communique une vitesse supérieure à celle du courant ascensionnel et qui tombent à la partie inférieure.

CHAPITRE VII

TRAVAUX DE RECHERCHE.

ABATAGE DES ROCHES, PUITS ET GALERIES.

Un gîte minéral étant découvert, il importe d'exécuter immédiatement les travaux qui peuvent en faire apprécier la valeur, c'est-à-dire les *travaux de recherche.* Notre cadre trop restreint ne nous permet pas de traiter de l'exploitation, mais les travaux de recherche qui doivent définir le gîte, préparer et décider l'exploitation, se rattachent nécessairement à tout ce qui précède. L'étude des terrains et des gîtes métallifères entraîne la nécessité d'y pénétrer.

Les indices fournis par l'étude des terrains ne peuvent amener qu'à découvrir les affleurements des gîtes minéraux, et à faire apprécier approximativement leur composition, leur forme, leur puissance, leur direction. Pour constater d'une manière positive tous ces éléments, essentiels à connaître avant toute exploitation, il faut nécessairement ouvrir des *travaux de recherche.* Cette exploration directe des gîtes peut se faire soit à ciel ouvert, par des *tranchées;* soit par des ouvrages souterrains, *puits* ou *galeries;* soit enfin par *sondages*, c'est-à-dire en forant dans le sol des trous de cinq, dix, vingt centimètres de diamètre, qui, dans beau-

coup de cas, suffisent pour donner, sur la composition souterraine des terrains, des notions assez exactes.

Pour exécuter ces travaux, il faut nécessairement étudier les divers moyens d'excavation qu'on doit employer suivant la nature du sol; ce qu'on peut appeler l'*outillage* des mines.

Werner a classé de la manière suivante les diverses roches d'après leur résistance à l'excavation et d'après les divers moyens employés pour les attaquer.

1° Les *roches ébouleuses*, telles que les terres décomposées ou terres végétales, les terres sablonneuses ou limoneuses, les sables et cailloux roulés, les débris de toute nature qu'il suffit de défoncer avec la *pioche*, pour les enlever ensuite et les charger avec la *pelle*.

2° Les *roches tendres*, roches non scintillantes, c'est-à-dire ne faisant pas feu au choc de l'acier, telles que la houille, le sel gemme, les argiles, les argiles schisteuses du terrain houiller, les schistes ardoisiers, les calcaires grossiers ou oolithiques, crayeux ou marneux, les gypses, les alluvions ou débris agglutinés par un ciment calcaire ou ocreux. Toutes ces roches peuvent être attaquées au *pic* et être abattues avec des *masses*, des *coins* et des *leviers*.

3° Les *roches traitables*, composées de roches non scintillantes, mais compactes et tenaces, ou de roches scintillantes, mais à texture lâche : tels sont, parmi les premières, les marbres, les serpentines, les schistes métamorphiques métallifères dont le kupferschiefer du pays de Mansfeld peut offrir le type, les hématites brunes et rouges non compactes et non quartzeuses; parmi les secondes se placent le grès houiller ou l'arkose, le grès exclusivement siliceux de Fontainebleau, le calcaire un peu siliceux, les roches cristallines avec commencement de décomposition. Ces roches sont attaquées au moyen de la *poudre*, mais on y joint l'action des outils, tels que les *pics à rochers*, les *masses*, les *coins*, les *leviers*, et les *pointeroles*, outils qui peuvent, dans un grand nombre de cas, suffire au travail de l'exploitation.

4° Les *roches tenaces*, toutes scintillantes, telles que le fer oxydulé, les hématites compactes, les pyrites de fer et de cuivre, le fer arsenical, tous les minerais ayant pour gangue le quartz, l'yénite et l'amphibole; la plupart des roches quartzeuses, les

granites, les porphyres, les basaltes. Ces roches ne peuvent être abattues qu'à la *poudre.*

5° Enfin, certaines roches appelées *récalcitrantes,* telles que le quartz non fendillé, pur ou servant de gangues à quelques minerais: oxyde d'étain, cuivre gris, galène, blende et pyrites, avec lesquels il constitue un mélange presque intime. Ces roches ne sont exploitées que lorsqu'elles sont riches : leur nature, à la fois dure et tenace, en rend l'abatage trop dispendieux. Cependant, lorsqu'il est nécessaire de les attaquer, on substitue quelquefois à l'emploi de la poudre l'action successive du *feu* et des *pointeroles.*

PROCÉDÉS D'EXCAVATION, OUTILLAGE.

Entailler, abattre, recueillir, telle est la marche du mineur, soit qu'il fonce des puits, perce des galeries ou procède à l'abatage des roches. Pour entailler ou couper, il se sert, dans les roches ébouleuses, de pioches, *carrées* si ces roches ne présentent pas de nodules résistants, *aiguës* si elles en présentent.

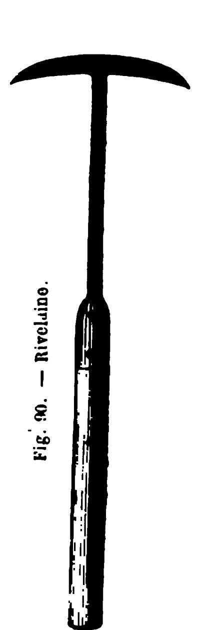
Dans les roches tendres, par exemple le sel gemme ou la houille, il se sert de *pics,* du poids de 2 kilogr. au plus et de $2^{k}75$ y compris le poids d'un manche ayant $0^{m}80$ de longueur et $0^{m}035$ de diamètre. Ces pics sont généralement à deux pointes et de la forme indiquée figure 89.

Fig. 89. — Pic à deux pointes.

Cette forme à deux pointes réunit les conditions de légèreté et de solidité convenables pour le travail dans les roches non scintillantes; les deux pointes ont en outre l'avantage de doubler la durée de l'outil qui doit être réparé dès qu'elles sont trop émoussées.

Les pics sont quelquefois remplacés, dans les houillères, et notamment dans celles de la Loire, par la *rivelaine* (fig. 90), outil en fer plat ayant $1^{m}30$ de longueur et $0^{m}01$ d'épaisseur sur une largeur de $0^{m}03$; cet outil, dont le

manche est en bois, porte à son extrémité deux pointes aciérées. Le nom de rivelaine est également donné à des pics plats et très-aigus qui sont employés de préférence lorsque l'on doit pratiquer dans la roche des entailles étroites et profondes.


Fig. 90. — Rivelaine.

La rivelaine est plus légère et plus longue que le pic ordinaire à deux pointes ; elle convient, par conséquent aux roches tendres.

Tous les pics, même pour les roches ébouleuses et tendres, doivent être aciérés sur 5 à 6 centimètres de longueur et recevoir une trempe aussi forte que le comporte leur diamètre ; car, indépendamment des particules ou noyaux de substances scintillantes que peuvent renfermer les roches, leur résistance propre suffirait pour mettre promptement les outils en fer hors de service. Il est difficile de juger la résistance que présente une roche, dans des travaux souterrains, d'après les débris extraits ; l'action de l'air sur ces fragments, leur isolement, et, par suite, la facilité avec laquelle on peut les briser, empêchent d'apprécier leur résistance réelle lorsqu'ils sont en masse compacte et soutenue.

Dans les roches traitables, les *pics* doivent être *obtus* et d'autant plus forts que la roche est plus dure et plus tenace. Pour augmenter leur résistance, on les fait généralement à une seule pointe, qui est tantôt droite (fig. 91), tantôt légèrement courbée (fig. 92).

Les pics à rochers servent à la fois comme instruments de division et comme leviers coudés.

Le pic à tête (fig. 93) sert à la fois comme pic pour diviser les roches, et comme masse pour les briser.

Ces pics pèsent de 2 à 4 kilogrammes, non compris le manche.

Les pointes des pics s'usent très-rapidement, surtout dans les roches scintillantes, et, lorsqu'elles se trouvent émoussées ou lorsque les mises d'acier sont usées, il faut nécessairement renvoyer l'outil à la forge pour être réparé. On a cherché dans certains cas à simplifier les réparations en employant des pics à pointe

mobile. La figure 95 représente un pic qui a été employé dans les salines de l'Est pour l'abatage du sel gemme. Le fer aciéré de

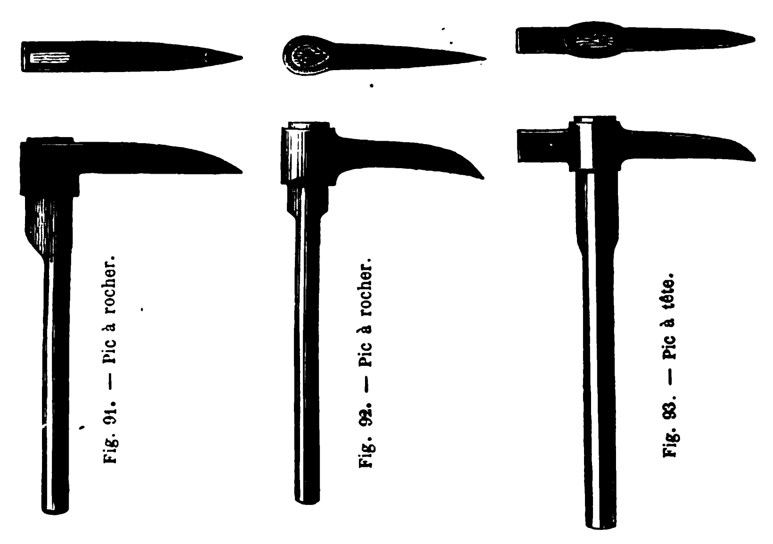


Fig. 91. — Pic à rocher.

Fig. 92. — Pic à rocher.

Fig. 93. — Pic à tête.

l'outil se détachait de l'emmanchement par un assemblage boulonné et était seul envoyé à la forge pour être réparé. Cette disposition ne s'est pas répandue, parce que l'assemblage finit par prendre du jeu, ce qui est préjudiciable au travail.

Fig. 95. — Pic à pointe mobile.

La *pointerole* a été d'un usage général pour entailler les roches traitables et récalcitrantes, avant l'application de la poudre à l'abatage des roches; mais aujourd'hui cet usage se trouve presque entièrement remplacé par celui de la poudre, qui devient de plus en plus exclusif. La pointerole est un petit pic à tête, de 0m 15 à 0m20 de longueur, avec un manche de 0m 25 placé au milieu (fig. 94). Il est en acier ou aciéré à la fois à la pointe, qui est aiguë, et à la tête. Le mineur s'en sert en plaçant la pointe contre les saillies de la roche et en frappant sur la tête avec une massette en fer, de manière à faire sauter des éclats. Lorsque les roches



Fig. 94. Pointerole.

sont très-dures, les pointes s'émoussent promptement ; aussi un mineur qui descend au travail emporte-t-il pour sa journée une trousse de douze pointeroles de dimensions différentes. Les pointeroles doivent être d'autant plus courtes que la roche est plus dure. Quant aux masses dont on se sert pour frapper, elles sont à manche court et doivent peser environ 2 kilogrammes.

Ces divers moyens d'entaille ne doivent pas être appliqués sans méthode : ainsi, dans un déblai superficiel, on aura soin de donner à l'excavation la forme de *gradins*, de telle sorte que, le premier défoncement une fois fait, tous les massifs à attaquer se présentent *dégagés sur deux faces*. Ce dégagement est essentiel pour faciliter l'abatage.

Dans une galerie, le mineur pratique sur la face à attaquer une entaille horizontale, soit au bas, soit à demi-hauteur, c'est-à-dire à 1 mètre environ au-dessus du sol de la galerie. Cette entaille, étant menée à la profondeur que comporte la dureté de la roche, facilite beaucoup l'abatage de toute la partie dégagée. On procède de la même manière pour foncer un puits, mais en plaçant l'entaille ou rigole soit au milieu, soit vers l'une des parois.

Lorsque le mineur attaque de cette manière une paroi composée de plusieurs variétés de roches, il choisit les parties les plus tendres pour y faire ses entailles, et s'attache à suivre les points où le terrain et fissuré, et, par conséquent, plus facile à attaquer.

Le terrain une fois entaillé, on abat la partie dégagée par l'entaille avec des *coins* ou des *leviers* qu'on introduit dans les fissures naturelles du sol, dans des entrailles étroites faites artificiellement. On emploie les masses, soit directement pour briser la roche, soit pour enfoncer les coins qui doivent la détacher; des leviers droits ou recourbés, quelquefois épatés en pied de biche ; des coins en acier, plats ou carrés. Dans quelques circonstances, on se sert aussi de coins en bois sec que l'on fait renfler au moyen de l'eau après les avoir chassés dans le sol.

Les masses employées sont en acier, à manche long, et pèsent depuis 1 jusqu'à 8 et 10 kilogrammes.

Enfin, pour recueillir les débris abattus, on emploie des pelles en fer, plates ou plus ou moins recourbées, suivant la nature des matières à ramasser.

Les anciens faisaient un grand usage, dans les travaux des mines, de l'action du feu. En effet, les roches les plus dures, brusquement chauffées, se dilatent et se fendent en perdant l'eau dont elles sont pénétrées ; quelques-unes sont même altérées dans leur composition. Si l'on projette ensuite de l'eau sur les roches incandescentes, elles se contractent subitement et se fissurent à une profondeur plus ou moins grande. Dans cet état, les roches les plus récalcitrantes peuvent être attaquées par des pointeroles que l'on engage dans toutes les fissures. On abat ainsi la partie altérée, et, lorsque la roche saine est de nouveau mise à nu, on renouvelle l'application du feu [1].

L'usage du feu existait encore il y a peu d'années dans quelques

1. Ce travail d'exploitation par le feu est certainement le plus ancien de tous les procédés. Dans les mines de l'antiquité, l'application du feu suppléait à la poudre et au manque de bons outils; on en jugera par le passage suivant d'une ancienne traduction de Diodore de Sicile, qui donne des détails intéressants sur les travaux de l'antiquité.

« Entre l'Égypte, l'Éthiopie et l'Arabie, il est un endroit rempli de métaux, et surtout d'or, qu'on tire avec bien des travaux et de la dépense; car la terre, dure et noire de sa nature, est entrecoupée de veines d'un marbre si blanc et si luisant (quartz), qu'il surpasse en éclat les matières les plus brillantes. C'est là que ceux qui ont l'intendance des métaux font travailler un grand nombre d'ouvriers. Le roi d'Égypte envoie quelquefois aux mines, avec toute leur famille, ceux qui ont été convaincus de crime, aussi bien que les prisonniers de guerre, ceux qui ont encouru son indignation, ou qui succombent aux accusations vraies ou fausses, en un mot tous ceux qui sont condamnés aux prisons. Par ce moyen, il tire de grands revenus de leur châtiment.

« Ces malheureux, qui sont en grand nombre, sont tous enchaînés par les pieds et attachés au travail sans relâche et sans qu'ils puissent jamais s'échapper, car ils sont gardés par des soldats étrangers et qui parlent d'autres langues que la leur. Quand la terre qui contient l'or se trouve trop dure, ils l'*amollissent d'abord avec le feu*, après quoi ils la rompent à grands coups de pic ou d'autres instruments de fer. Ils ont à leur tête un entrepreneur qui connaît les veines de la mine et qui les conduit. Les plus forts d'entre les travailleurs fendent la terre à grands coups de marteau, cet ouvrage ne demandent que la force des bras, sans art et sans adresse. Mais, comme pour suivre les veines qu'on a découvertes il faut souvent se détourner et qu'ainsi les allées qu'on creuse dans ces souterrains sont fort tortueuses, les ouvriers, qui sans cela ne verraient pas clair, portent des lampes attachées à leur front; changeant de posture autant de fois que le requiert la nature du lieu, ils font tomber à

mines. Au Rammelsberg (Hartz), et à Altenberg (Saxe), on attaquait ainsi les massifs par des bûchers qui étaient allumés le samedi soir, et lorsque l'action du feu avait désagrégé les roches, on projetait dessus des jets d'eau froide.

Quelquefois aussi on a appliqué le feu au percement des galeries. A cet effet, on construit devant la paroi qui doit être attaquée, un mur en briques qui laisse environ 0m30 de vide. A la base de ce mur on place une grille sur laquelle le combustible, qui de préférence sera du coke, est disposé de manière à durer un certain temps. Le feu lèche ainsi les parois du rocher contre lequel on le dirige. Les mineurs, par l'application alternative du feu et des outils, arrivent ainsi à percer et abattre les roches les plus récalcitrantes.

Cette méthode de travail ne peut être appliquée que dans des mines dont l'aérage est vif et facile ; la difficulté de se débarrasser des gaz produits par la combustion opposerait une impossibilité presque complète à son emploi dans les mines profondes. La découverte de la poudre, en offrant une méthode d'abatage plus simple et plus rapide, a facilité beaucoup le développement de l'art des mines, et permis de donner aux travaux souterrains plus d'étendue et de simplicité.

EMPLOI DE LA POUDRE POUR L'ABATAGE DES ROCHES.

L'emploi de la poudre dans les mines remonte à l'an 1632. Jusqu'à cette époque, l'emploi des outils et du feu avait suffi aux exploitations ; mais le travail était d'une très-grande lenteur, et

leurs pieds les morceaux de pierre qu'ils ont détachés. Ils travaillent ainsi jour et nuit, forcés par les cris et par les coups de leurs guides. De jeunes enfants entrent dans les ouvertures que les coins ont faites dans le roc, et en tirent les petits morceaux de pierre qui s'y trouvent et qu'ils portent ensuite à l'entrée de la mine. Les hommes âgés de trente ans prennent une certaine quantité de ces pierres, qu'ils pilent dans des mortiers avec des pilons de fer, jusqu'à ce qu'ils les aient réduites à la grosseur d'un grain de millet. Les femmes et les vieillards reçoivent ces pierres mises en grain et les jettent sous des meules rangées par ordre ; se mettant ensuite deux ou trois à chaque meule, ils les broient jusqu'à ce qu'ils aient réduit en une poussière aussi fine que de la farine la mesure qui leur en a été donnée. »

l'application de la poudre fut un progrès d'autant plus remarquable pour l'art des mines, qu'il en résulta une économie de plus de moitié dans le prix de revient des ouvrages et dans le temps nécessaire à leur exécution.

L'abatage à la poudre est ramené, dans toutes les mines, à une méthode très-simple, consistant à forer des trous cylindriques convenablement placés dans le rocher qu'on veut faire éclater, à y placer une cartouche par-dessus laquelle on chasse une bourre, en se ménageant les moyens d'enflammer la cartouche. Les charges sont naturellement mises en rapport avec les dimensions des trous forés et la résistance de la roche ; dans les travaux souterrains, elles varient entre 60 et 150 grammes ; dans les travaux à ciel ouvert, où les massifs, mieux dégagés, permettent d'agir plus en grand, elles sont portées à 500 grammes et jusqu'à 1 kilogramme.

Les *fleurets* avec lesquels on perce les trous de mine sont des tiges cylindriques en fer, armées à leur extrémité d'un biseau en acier. Ce biseau est un peu courbe, afin que les angles ne soient pas brisés par le choc, et un peu plus large que le diamètre de la tige, afin que cette tige ne frotte pas contre le parois du trou.

Le mineur frappe sur le fleuret avec une masse de 2 kilogrammes à 2k50, en tournant après chaque coup son fleuret d'un sixième à un douzième de circonférence. Pour commencer un trou, on prépare la surface avec une pointerole, et l'on se sert, surtout dans les mines d'Allemagne, d'un fleuret quadrangulaire dont la pointe est formée de deux biseaux croisés à angle droit.

Cette opération si simple du percement d'un trou de mine est la première éducation qu'on doive donner au mineur. On trouve difficilement, dans les campagnes, des hommes au courant de ce travail ; il est donc nécessaire d'entrer dans quelques détails pratiques.

Les dimensions ordinaires des fleurets, lorsque le travail se fait à un seul homme, sont : pour le premier fleuret qui sert à commencer le trou, 0m30 de longueur et 0m029 de diamètre au biseau ; le second fleuret (qu'on emploie lorsque le trou a environ 0m15 de profondeur) a 0m50 de longueur, et 0m024 de diamètre au biseau ; le troisième a 0m70 de longueur et 0m022 de diamètre au biseau. La pointe et la tête de ces fleurets sont en acier.

Un mineur fait avec ces outils des trous de 0^{m}25 à 0^{m}55 de profondeur. Il doit frapper, en tenant sa masse par l'extrémité du manche, avec toute la force dont il est susceptible, et donner 40 à 50 coups par minute, en entretenant de l'eau dans le trou pour empêcher le ciseau de se détremper et en même temps faciliter la désagrégation de la roche. Lorsque la pâte formée par la poussière gêne l'action du fleuret, il nettoie le trou avec la *curette* (petite tringle en fer méplat, courbée en cuiller à son extrémité). La profondeur convenable étant atteinte, il sèche le trou au moyen d'un tampon d'étoupe passé dans l'anneau de la curette, prend une *cartouche*, enfonce l'*épinglette* dans sa partie supérieure et place la cartouche au fond. Il chasse ensuite la bourre autour de l'épinglette à l'aide d'une tige en fer, évidée dans sa partie inférieure, appelée *bourroir* (cette bourre est ordinairement formée d'une roche compacte non scintillante, telle que du calcaire, de l'argile, du schiste argileux, etc.), puis il retire l'épinglette, en passant le bourroir dans l'anneau et en la détachant à petits coups afin d'éviter la production d'étincelles par frottement. Il ne lui reste plus qu'à verser de la poudre dans le trou laissé libre par l'épinglette, ou mieux à y placer des *canettes* (petits rouleaux de papier enduits de poudre délayée et séchée), et à disposer une mèche soufrée assez longue pour qu'il ait le temps de se mettre en lieu de sûreté après l'avoir allumée.

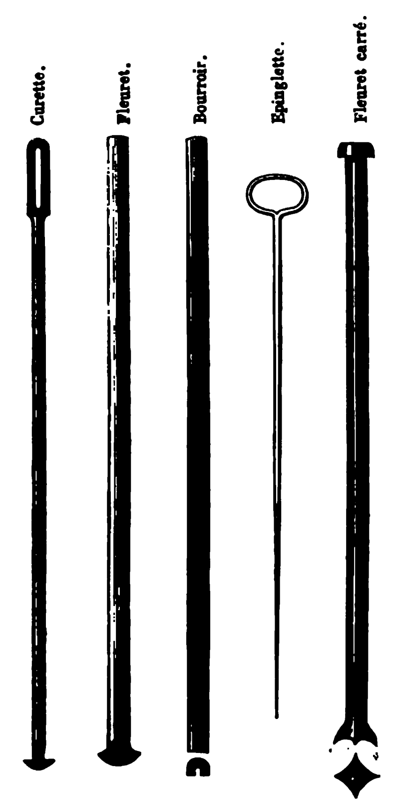


Fig. 96. — Outils pour le tirage à la poudre.

Les détails de cette opération subissent quelques variations

d'une mine à l'autre, mais il suffit de quelques jours de pratique pour faire apprécier ceux qui s'adaptent le mieux à chaque localité. On doit seulement insister sur certains détails généraux, tels que l'emploi des épinglettes en cuivre, et le graissage de leur tige toutes les fois qu'on va s'en servir; on évitera ainsi une grande partie des chances d'accident. Si le trou est fissuré ou très-humide, on y chasse de l'argile sèche jusqu'à ce qu'on ait bouché les fentes, absorbé l'humidité, et l'on emploie des cartouches enveloppées de toile goudronnée.

Le bourrage formé de roche non scintillante doit être solide, fortement chassé, et l'ouvrier aura soin, pendant qu'il l'exécute, de tourner de temps en temps l'épinglette pour qu'elle n'y adhère pas. Lorsqu'il y a plusieurs ouvriers dans un même atelier, on ne fera partir les coups de mine que tous ensemble, et à la fin du poste, s'il est possible, afin d'éviter toute perte de temps. On devra veiller à ce que les ouvriers soient à l'abri pendant l'explosion, et, s'il s'agit du fonçage d'un puits, on exigera qu'ils remontent au moins à 20 ou 25 mètres au-dessus du fond.

On se sert beaucoup, aujourd'hui, des *fusées de sûreté* ou fusées Bickford, destinées à remplacer l'usage combiné de l'épinglette et des canettes. Ces fusées consistent en une corde ronde, recouverte extérieurement d'un enduit imperméable et dont l'axe est un petit canal rempli de poudre. La fusée est liée à la cartouche, dans laquelle on la fait pénétrer de cinq à six centimètres; elle doit dépasser le trou de mine d'environ un décimètre. On exécute le bourrage en ayant soin de le faire avec de l'argile de manière à ne pas couper la fusée; on peut ensuite mettre le feu à la charge sans courir le danger qui existe toujours lorsqu'on arrache l'épinglette. Les fusées de sûreté, étant imperméables à l'eau, sont moins sujettes à manquer leur effet, et, comme elles brûlent avec une vitesse connue, on peut calculer le moment de l'explosion.

Dans plusieurs cas, il est avantageux d'employer la poudre à des charges plus fortes.

Les mineurs percent alors à deux : l'un tenant un long fleuret dit *barre à mine*, et le faisant tourner; l'autre frappant dessus avec des masses de 4 et 6 kilogrammes. Le premier fleuret a dans ce cas $0^{m}70$ de long et $0^{m}042$ de diamètre au biseau; le second,

0m 90 de long et 0m 036 de diamètre ; le troisième, 0m 1 et 0m 035 ; le quatrième, 1m 20 et 0m 031. On perce ainsi des trous qui peuvent avoir un mètre de profondeur et qu'on charge de la même manière que les précédents.

Cette méthode de forage à deux s'emploie surtout lorsqu'on doit percer des trous de mine sous l'eau, parce qu'on cherche alors à forer des trous de grand diamètre et peu nombreux ; dans ce cas, le trou étant foré suivant les méthodes indiquées, on le charge avec une cartouche contenue dans un tuyau de fer-blanc, et l'on opère dans ce tuyau comme à l'ordinaire. A chaque coup, le tuyau est défoncé et raccourci, et on lui soude un nouveau fond. D'autres fois on se sert de cartouches enveloppées dans des boîtes imperméables et communiquant à l'extérieur au moyen de tubes de même nature qui sont remplis de poudre.

Après le tirage d'un coup de mine, les ouvriers doivent abattre, avec les pics et les leviers, toutes les parties fendues et ébranlées et ne placer un second coup qu'après s'être assurés, avec le marteau, que la roche est saine et bien adhérente.

La position des coups de mine exige, de la part des mineurs, de l'intelligence et de l'habitude, parce qu'il est difficile de donner aucune règle à ce sujet, cette position étant déterminée par des circonstances variables et complexes. En principe, la partie qu'on veut faire sauter doit présenter moins de résistance que les autres ; la forme de la paroi, le sens des fissures et leur étendue sont donc les circonstances principales qui peuvent guider dans le placement des coups de mine, toujours destinés à faire sauter les masses les mieux dégagées.

Lorsque la roche attaquée peut être entaillée, la méthode la plus rapide consiste à faire une entaille, soit au sol d'une galerie, soit sur le fond d'un puits, puis à placer les coups de mine obliquement, de manière à détacher des fragments à section triangulaire. On cherche les positions de chaque coup de mine, en ayant soin de proportionner l'épaisseur du rocher et sa résistance à la charge, et d'éviter surtout d'exposer le coup de mine à se décharger comme une arme à feu. Lorsque la roche ne peut être dégagée par l'emploi des outils, on procède à ce dégagement par de petits coups de mine de 25 centimètres de profondeur, qui

permettent ensuite d'en placer de plus forts. Enfin, on met à profit les fissures naturelles et les parties moins résistantes, telles que les délits ou les salbandes d'un filon, en ayant soin, lorsqu'un massif est isolé sur deux faces, que le fond du coup de mine ne dépasse jamais la ligne qui termine le dégagement.

Le mineur qui doit attaquer des roches dures et sans fissures creuse à la pointerole des rigoles d'isolement qui dégagent une certaine épaisseur et lui permettent de placer ses coups de mine plus avantageusement. Dans les terrains stratifiés, il creuse au sol et avec le pic une profonde entaille dite *havage* ou *souschèvement*, en ayant soin de soutenir au besoin la roche entaillée par des étais; il place ensuite vers le toit de l'excavation des coups de mine ayant toute la profondeur du havage et dont l'effet sera d'opérer le *rabatage*, c'est-à-dire d'abattre toute la partie supérieure.

La poudre étant devenue un élément important du prix des travaux de mines, on a dû chercher d'abord à lui donner la qualité la plus convenable à cette destination. La poudre agit par le choc résultant de la formation subite des gaz produits par son inflammation, et par la détente de ces gaz. La première action est l'effet initial, celui qui fracture les roches et qu'on cherche à produire dans les mines; la seconde projette au loin les débris fracturés : ce que l'on cherche à éviter. La poudre de mine est composée de 65 parties de nitre, 15 de charbon et 20 de soufre; tandis que la poudre de guerre est composée de 75 parties de nitre, 12,50 de charbon et 12,50 de soufre. Les qualités d'une bonne poudre sont de présenter des grains égaux, secs, durs, non tachants et nets de poussière.

La provision nécessaire aux consommations d'une mine doit être conservée dans une petite poudrière éloignée des habitations et des travaux, et à l'abri de toute humidité. La fabrication de la poudre n'étant pas permise en France, les mines la reçoivent de l'administration au prix de 2 fr. 20 cent. le kilogramme. Il est bon seulement de constater sa qualité par quelques expériences comparatives faites avec les diverses éprouvettes en usage.

L'effet initial de la poudre est en grande partie proportionnel à la

surface soumise à son action. On a réalisé une augmentation d'effet en plaçant au centre de la cartouche un noyau cylindrique en bois dur ou en fer, qui augmente la surface des cartouches faites avec un poids donné de poudre. Mais ce noyau intérieur était sujet à dérangement, et l'on est arrivé au même résultat en substituant au noyau intérieur une poussière qui maintient les grains de poudre à une certaine distance les uns des autres. La sciure de bois est ordinairement préférée pour cet usage; on en mélange un tiers (dans les mines de sel gemme de la Meurthe) et jusqu'à moitié du volume (mines de Tarnowitz en Silésie). On a constaté, non-seulement dans ces mines, mais dans celles de Suède et d'Allemagne, que, pour un effet utile déterminé, on pouvait ainsi arriver à une économie variable d'un tiers à un quart de la poudre employée. Des expériences faites par l'artillerie à Belfort ont également prouvé que l'on pouvait mélanger avec avantage jusqu'à moitié de sciure de bois dans des pétards de 4 centimètres de diamètre, placés à 1 mètre de profondeur. Le mélange du tiers est le plus usité dans les mines.

En Suède, on s'est servi de petits cônes en bois, évidés sur les côtés, et disposés au bas de la cartouche, de manière à maintenir un vide entre la poudre et le fond du trou. Ce vide augmente la force initiale, et, d'après les expériences qui ont été faites, l'économie qu'on peut ainsi réaliser s'élèverait au cinquième de la poudre employée. Il faut, pour que cette économie soit possible, que les trous aient au moins 0m40 de profondeur.

Le prix de l'abatage dans les ouvrages de mines varie entre des limites très-éloignées. Il dépend non-seulement de la dureté et de la ténacité de la roche à excaver, mais encore de sa structure plus ou moins massive et plus ou moins fissurée; de la forme et des dimensions de l'excavation; enfin, de causes moins variables, telles que du prix de la journée du mineur, de son aptitude à ce genre de travaux, et du prix des consommations, telles que poudre, acier, huile pour éclairage, etc. On ne peut donc fixer ces prix d'abatage qu'après avoir étudié les diverses conditions du travail; mais, en se bornant à évaluer le temps du travail et la consommation de poudre, les principaux éléments du calcul pourront être basés sur les données qui suivent.

Les travaux à ciel ouvert sont ceux où l'abatage présente le moins de difficultés, car non-seulement les massifs y sont parfaitement dégagés, mais on peut y faire agir la poudre à fortes charges. Ainsi, dans sa journée, un mineur abattra dans des ouvrages à ciel ouvert et à gradins :

	Mètres cubes.	Kilogrammes.
Dans le granite le plus dur.	2,50	avec 0,65 de poudre.
Dans le grès tel que le grès rouge de Strasbourg, ou le grès houiller de Saint-Étienne.	4 à 6	avec 1,50
Dans le calcaire cristallin ou marbre.	8	avec 1,60
Dans le calcaire grossier parisien.	16	avec 3
Dans le gypse.	20 à 25	avec 2

Des expériences nombreuses ont été faites pour déterminer les charges de poudre nécessaires pour faire sauter un gradin dégagé sur deux faces, en comparant le poids de la charge à la longueur de la ligne de moindre résistance. Celles qui ont été faites dans les carrières de granite de Kingstone ont donné les résultats suivants :

Longueur des lignes de moindre résistance mesurée horizontalement à la base du gradin.	Charge de poudre nécessaire pour détacher la roche.
0m30	14 grammes.
0m60	112 —
0m90	378 —
1m20	906 —
1m50	1,750 —
1m80	3,024 —
2m10	4,802 —

D'après ces expériences, on a pu déduire une règle approximative dans les termes suivants : la charge de poudre en grammes est égale à la moitié du cube de la ligne de moindre résistance exprimée en décimètres.

Mais cette règle ne serait applicable qu'aux granites. On peut cependant en déduire les quantités nécessaires pour d'autres roches par la comparaison de l'effet d'un kilogramme de poudre pour abattre ces roches en carrières. Ainsi un kilogramme de poudre, employé sur des massifs dégagés sur deux faces, abattra :

3 mètres cubes	de granite.
4 —	de grès houiller de dureté moyenne.
5 —	de marbre.
6 —	de calcaire grossier.

Dans les galeries de mines, le travail est beaucoup plus lent, les roches ne pouvant être enlevées, pour ainsi dire, que par écailles. Si nous prenons pour exemple les dimensions ordinaires des galeries de service ou de passage où, malgré quelques variations dans la hauteur et la largeur, les résultats peuvent être considérés comme sensiblement comparables, nous trouverons pour les quantités de temps et de poudre employés par mètre cube :

Nature de la roche.	Poudre employée.	Heures de travail.	Dimensions de la galerie.
Quartz compacte et cristallin métallifère.	K 6,80	210	1,90 × 1,20
Gneiss très-dur et très-tenace.	4,64	171	2 × 1
Minerai d'argent disséminé dans une gangue dure, formée de débris de gneiss liés par un ciment quartzeux.	3,88	148	2 × 1
Dans un filon de même nature détaché par des salbandes argileuses.	2,20	111	2,10 × 0,85
Dans un filon formé de débris de gneiss liés par un ciment argileux.	1,30	66	2,47 × 1
Dans un petit filon non adhérent à un gneiss.	0,82	39	2,47 × 1,47

Ces exemples, empruntés aux mines de Saxe et de Bohême, résument assez bien les diverses conditions de résistance que peuvent présenter les gîtes métallifères. On voit qu'indépendamment de la dureté de la roche, son état plus ou moins fissuré et ses clivages naturels exercent la plus grande influence sur le temps nécessaire au percement. Ces premières données seront complétées par les chiffres relatifs aux mêmes ouvrages exécutés dans des roches non scintillantes, plus homogènes et dont le type est par conséquent plus facile à saisir.

Nature de la roche.	Poudre employée.	Heures de travail.	Dimensions de la galerie.
Calcaire cristallin, siliceux, dur et compacte.	2,50	58	1.90 × 1
Calcaire, marbre compacte.	2	48	2.10 × 1,26
Calcaire, marbre un peu schisteux.	1,55	45	2.30 × 1,50
Calcaire compacte, lithographique, stratifié.	0,90	30	2,50 × 2
Sel gemme.	0,33	19	2,50 × 3
Schiste argileux, tendre.	0,27	13	2,30 × 1.50

Pour les mêmes roches, le prix du mètre cube abattu diminue à mesure que la section de la galerie est plus grande.

Dans le fonçage des puits, la disposition étant moins favorable, puisque le poids des blocs s'oppose au lieu d'aider à l'abatage, il faut compter au moins un quart en sus pour les quantités de temps et de poudre, et jusqu'à moitié si le travail est gêné par les eaux.

Dans quelques circonstances on a employé la poudre à grandes charges. Lorsque, par exemple, on veut détruire un ou plusieurs piliers et provoquer l'éboulement général ou partiel d'un étage d'exploitation : on perce dans chacun des piliers une petite galerie qui pénètre jusqu'au centre, et l'on y établit ce que l'on appelle un *fourneau,* c'est-à-dire une chambre d'une capacité proportionnée à la quantité de poudre qui doit y être placée. La poudre y est disposée à l'abri de l'humidité des parois ; un tube d'amorce y est engagé, et l'on y met le feu, après avoir bouché l'entrée de la galerie par une maçonnerie ou par un fort boisage, quelquefois même par les deux moyens combinés. La résistance de ce barrage qui représente la bourre doit évidemment être supérieure à celle des parties qu'on veut faire sauter.

On a même employé la poudre à fortes charges simplement pour fissurer des massifs de terrains et en préparer l'abatage. Le fait s'est présenté dans l'exécution du chemin de fer de Douvres à Folkestone. Le tracé, qui avait déjà nécessité le percement de deux tunnels, suivait le bord de la mer et devait traverser, par un troisième tunnel, un promontoire crétacé de 100 mètres environ de hauteur. Cette masse parut dans de bonnes conditions pour être attaquée par la poudre. On creusa d'abord vers la base une galerie qui, pénétrant dans le centre de la masse, servit en quelque sorte d'entaille pour limiter le champ d'action de l'explosion, puis on découpa le promontoire par trois autres galeries perpendiculaires à la première : enfin on perça trois puits faisant fonction de trous de mine. A la base de ces puits on creusa trois chambres ou fourneaux ayant 3ᵐ33 de longueur, 1ᵐ50 de hauteur et 1ᵐ25 de largeur, qui furent chargées de 9,000 kilogrammes de poudre, puis fermées par un bourrage en maçonnerie et en sable. L'explosion fut déterminée par une batterie galvanique placée à 300 mètres en arrière des fourneaux, et le rocher, détaché sur une longueur de

150 mètres, fissuré et en partie éboulé, put ensuite être déblayé avec promptitude et économie.

Les mêmes procédés ont été appliqués à Alger et à Marseille, pour préparer le déblai de calcaires compactes, soit pour obtenir les blocs nécessaires pour la construction des jetées.

PERFECTIONNEMENT DE L'OUTILLAGE.

On voit, d'après ce qui précède, quelle est la simplicité de l'outillage du mineur; la main-d'œuvre, on le prévoit, est l'élément essentiel pour tous les travaux à exécuter dans le sol. La difficulté de trouver des mineurs habiles a fait considérer comme très-importants les appareils qui ont pour but de réduire la proportion de la main-d'œuvre, soit par des outils perfectionnés, soit en substituant l'action des moteurs mécaniques à l'action immédiate de l'ouvrier mineur. De là, divers outils désignés sous les dénominations de *perforateurs* et de *haveuses* mécaniques.

Divers systèmes de perforateurs mus à bras ou mécaniquement, par l'air comprimé, ont été employés pour le forage des trous de mine. Le plus célèbre de tous, et le seul qui soit recommandé par l'expérience, est celui qui est appliqué au percement du mont Cenis, qui évidemment a résolu le problème de la rapidité. Des essais sérieux ont été entrepris pour l'appliquer dans les galeries de mines.

L'appareil du mont Cenis est celui qui paraît devoir réaliser le progrès désiré. Son mode d'action est identique à celui du forage à main, avec cette différence qu'un mineur vigoureux ne donnera pas en moyenne 20 coups de masse par minute sur son fleuret, tandis que le moteur mécanique en donnera facilement 200, avec une vigueur qui n'est limitée que par la crainte d'écraser l'acier.

Au mont Cenis, les dimensions du tunnel permettent l'installation, la surveillance et l'entretien de l'appareil perforateur, et l'on peut employer simultanément huit ou dix fleurets. Cette condition peut être considérée jusqu'à présent comme nécessaire, en ce sens

que les applications faites dans les petites galeries n'ont pu employer qu'un fleuret et que les embarras résultant du manque d'espace, des dérangements et des réparations sur place ont toujours déterminé des chômages. Le temps gagné par l'appareil lorsqu'il est en fonctions se trouvant ainsi perdu par les chômages, les essais sont restés coûteux et sans effet utile. C'est ce qui est arrivé pour l'application du perforateur Dœring dans le bassin de la Loire. Un ingénieur avait monté cet appareil et entrepris des galeries, et cette entreprise, bien qu'entourée de toutes les garanties que peut assurer l'intelligence et le zèle, ne put cependant arriver à être fructueuse.

Pour préparer le percement de la section totale du tunnel du Mont-Cenis, on commence par percer une galerie d'environ 4 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur; dans ces dimensions la galerie a le caractère d'une galerie de mine.

L'appareil se compose d'un affût roulant portant tous les engins mécaniques, réservoir d'air comprimé, etc... et huit perforateurs, au moins, pouvant être posés sur trois niveaux, suivant les besoins du service.

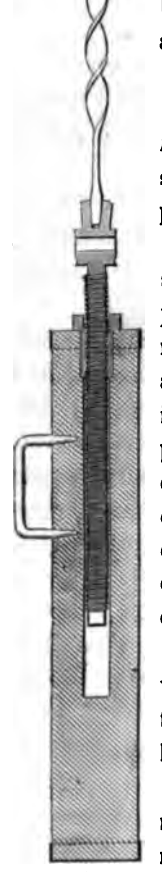
Ces perforateurs, de $0^{m}20$ de course, donnent environ 200 coups par minute, avec une force évaluée de 30 à 50 kilogrammes. 70 à 80 trous de $0^{m}03$ à $0^{m}04$ de diamètre et $0^{m}80$ de profondeur étaient percés horizontalement. Une dizaine de ces trous disposés suivant une ligne horizontale centrale servaient de coups de fond; d'autres suivant des lignes horizontales inférieures ou supérieures agissaient en rabatage; d'autres enfin disposés suivant les parois et le cintre de la galerie affranchissaient la section.

Ces trous étaient chargés de cartouches d'environ $0^{m}30$ de longueur, et les mèches réglées de manière à faire partir d'abord les coups de fond, puis les coups des gradins successifs, puis les coups de contour.

Dans les roches faciles, comme les calcaires et schistes argileux en alternances multipliées qui représentent le lias sur plus de 9 kilomètres de longueur, les roches étaient littéralement broyées sur toute la profondeur des trous de mine, de telle sorte que le déblai et l'affranchissement de la galerie se faisaient rapidement. On pouvait ainsi faire par 24 heures trois opérations complètes qui déterminaient un avancement de $2^{m}40$ environ. Dans les grès

houillers à cailloux quartzeux qui se trouvaient à l'entrée du tunnel, du côté de Modane, l'avancement journalier ne fut guère que de 1 mètre à 1m50; enfin dans le banc de quartzites qui représente le grès bigarré, il tomba à 0m60.

En résumé, le tunnel commencé en 1856 sera terminé en 1872, et l'on peut admettre 16 années de travail pour la petite galerie, soit environ 2m50 d'avancement par jour ou 1m25 par chantier, y compris les temps perdus. Cet avancement exceptionnel donne au perforateur Sommeiller une grande importance. Un perforateur analogue est actuellement appliqué à la mine de Marihaye, près Liége.


Fig. 97. Perforateur à vis.

Sur une échelle plus modeste, les perforateurs à *mouvement de rotation* se sont ajoutés, sous plusieurs formes, à l'outillage des mines. Le plus répandu est le perforateur Lisbeth.

Ce perforateur se compose d'un bâtis en fer qui sert de porte-outil. Ce bâtis à coulisses, avec vis de pression à chaque extrémité, s'établit entre toit et mur d'une galerie ou d'une taille. L'outil s'y trouve adapté avec un écrou qui peut prendre toutes les inclinaisons, de telle sorte qu'une fois amené à la position qu'on veut donner au trou de mine, il peut être mis en mouvement de rotation au moyen d'un cliquet. La partie pénétrante est un foret hélicoïdal, en acier fortement trempé, maintenu en pression constante contre la roche, au moyen d'une vis d'avancement.

Le pas de cette vis est plus ou moins grand, suivant que la roche est plus ou moins résistante à l'action de désagrégation que produit le mouvement et la pression de l'outil.

Le perforateur Lisbeth est entré dans l'outillage normal de plusieurs mines, sans cependant se généraliser. Plusieurs constructeurs l'ont imité, en cherchant à le simplifier, et sous ce rapport on peut citer le simple *perforateur à vis*, représenté figure 97, comme l'expression de la plus grande simplicité possible.

Le support est supprimé, ou plutôt il ne consiste plus qu'en une pièce de bois que le mineur cale à l'aide de coins en travers de sa galerie ou de son chantier ; sur cette traverse, il appuie la base du cylindre en bois qui contient la vis et supporte le foret et, en tournant la vis, serre l'outil entre le bois et le rocher. Il n'a plus ensuite qu'à tourner la vis au moyen d'une barre qu'il introduit dans la tête percée dans ce but. Le pas de la vis qui règle l'avancement est proportionné à la dureté de la roche.

Ce perforateur est primitif et peu coûteux, avantage considéré comme précieux par les mines qui l'ont adopté ; elles en ont un certain nombre en magasin, qui sont remis aux ouvriers qui en font la demande.

Les perforateurs à mèche et rotation sont très-efficaces dans les roches qui se désagrégent assez facilement, telles que les grès houillers grenus à ciment argileux, les argiles schisteuses ; mais dans les quartzites et les grès compacts à ciment siliceux, c'est-à-dire plus durs que l'acier, leur avancement est presque nul. L'acier employé par percussion vaut mieux, en effet, dans ce cas, que par rotation et pression.

Un perforateur annulaire avec diamants sertis sur une bague, dit *perforateur Leschot*, a été justement considéré comme le plus logique pour pénétrer dans les roches tenaces et plus dures que l'acier. Il est, en effet, naturel de prendre une substance plus dure que le quartz et le felspath pour y forer un trou, et les diamants noirs opaques sont d'un prix encore abordable pour un outil de ce genre.

Le succès obtenu par le perforateur Leschot, perfectionné et produit à l'Exposition de 1867 par MM. La Rochetolay et Perret, qui y avaient adapté un moteur hydraulique, a été aussi complet que possible dans les expériences. On y forait, dans le granite le plus dur, des trous de 0m035 à 0m05 de diamètre avec une vitesse de 0m80 par heure. Les quartzites du mont Cenis, les porphyres de Tarare étaient percés avec des vitesses de 0,30 à 0,50. Quelques applications eurent lieu pour le percement des tunnels à Tarare, dans les Apennins et dans les Pyrénées. Dans l'intérieur des mines il fut fait des essais à Blanzy pour le percement de galeries dans les roches dures.

Ces essais ont démontré encore une fois qu'il fallait avant tout,

pour les travaux souterrains, des outils d'un maniement et d'un entretien plus faciles.

Depuis cinq ans on s'est beaucoup occupé de la construction de machines dites *haveuses mécaniques* destinées à faire dans les roches des havages parallèles aux plans de stratification, soit des entailles perpendiculaires, afin d'exécuter mécaniquement le travail que fait le mineur avec son pic.

Plusieurs systèmes ont été mis en essai pour exécuter les havages dans la houille, et deux de ces systèmes ont pu être considérés comme très-près du succès.

Le premier est la haveuse Lewick, construite de manière à donner le mouvement alternatif à un pic qui agit comme le mineur lui-même; figure 98.

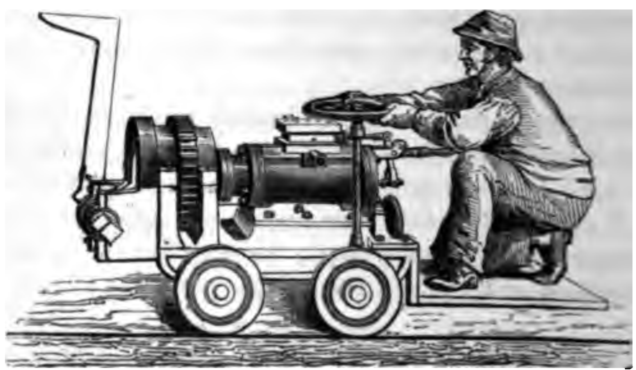
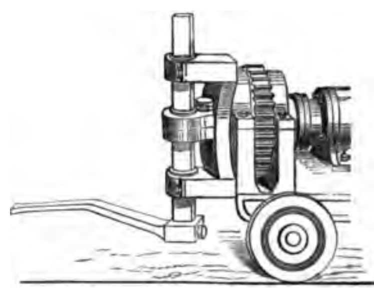


Fig. 98. — Haveuse Lewick.

L'appareil est monté sur un chariot établi sur des rails parallèles au havage à exécuter. Le pic monté sur un arbre reçoit le mouvement d'un piston mu dans un cylindre à air comprimé. Le mineur qui dirige l'appareil reste donc sur un point, jusqu'à ce que le pic ait ouvert le havage à la profondeur voulue, puis il fait avancer le chariot, de manière à faire une seconde passe, et ainsi de suite.

L'arbre qui porte le pic peut tourner avec le manchon porteur, au moyen d'un engrenage, de manière à donner aux entailles toutes

les inclinaisons désirables, notamment la position horizontale indiquée par la figure 99. Ajoutons que tous les organes mécaniques et notamment la distribution de l'air comprimé dans le cylindre moteur ont été étudiés de manière à donner satisfaction à toutes les exigences du service.


Fig. 99.

L'application de cet appareil rencontre toutes les difficultés qui se sont opposées à l'application des machines dans les mines. Il faut du temps pour que des appareils mécaniques, toujours compliqués, soient admis dans un outillage où l'on recherche la simplicité comme une condition essentielle ; mais l'idée est féconde, elle s'imposera par la suite comme un perfectionnement utile et peut-être nécessaire.

Parmi les haveuses actuellement en essai, nous citerons celle de M. Gay, qui consiste en un outil animé d'un mouvement de rotation disposé de manière à percer droit devant lui, ou à entailler par une pression latérale le parement à haver.

NITRO-GLYCÉRINE. DYNAMITE.

L'emploi de la poudre a été l'objet d'études et d'expériences nombreuses à l'effet de rechercher tous les perfectionnements qui pouvaient rendre le travail plus économique et plus rapide. De toutes ces études, un fait est ressorti d'une manière absolue, c'est que pour obtenir un progrès sérieux, le seul moyen était de trouver des poudres plus énergiques que celles qui sont employées pour les mines.

Que l'on suppose, en effet, cette poudre trouvée ; placée dans un trou de mine, elle produit un effet double, triple ou quadruple de celui qui est obtenu par la poudre ordinaire. On peut donc n'avoir à percer que deux ou quatre fois moins de trous.

L'idée de substituer à la poudre ordinaire des mines une poudre plus énergique, a été étudiée par bien des ingénieurs.

On a d'abord pensé à la poudre sodique comme moins coûteuse, mais elle est trop hygrométrique et difficile à conserver.

Les poudres fulminantes au chlorate de potasse sont chères et dangereuses à manier. On y a renoncé après des essais avantageux, en ce sens, que si ces poudres sont plus coûteuses, leur action énergique détermine une économie considérable sur le nombre et les dimensions des trous de mine à percer.

On a fabriqué des cartouches d'un très-bon effet, en recouvrant du papier non collé et mouillé, d'une pâte composée de chlorate de potasse, charbon, sulfure d'antimoine et gomme. Ce papier, enroulé et serré en cartouches, puis desséché, pouvait être conservé et manié sans danger.

La découverte du pyroxyle parut la solution du problème. Les essais qui furent faits, notamment avec des pyroxyles fabriqués avec de vieux chiffons de coton et mélangés de chlorate de potasse, furent complétement favorables. La nature hygrométrique de ces pyroxyles et la difficulté de leur conservation ont cependant empêché de donner suite à ces essais.

Vint enfin la nytro-glycérine, dont les propriétés énergiques ont fait abandonner toutes les autres matières. Sa supériorité fut d'abord constatée par un fait assez concluant. On avait essayé de briser une masse de fonte d'environ 30 tonnes dans l'usine de Dortmund à l'aide de la poudre; un trou de 0m032 de diamètre et de 0m63 de profondeur, chargé et tiré à la poudre suivant les méthodes ordinaires, n'avait produit aucun effet. Chargé avec la nitro-glycérine, le résultat fut obtenu.

Essayée dans les carrières de calcaire carbonifère, à Soignies, en Belgique, dans les exploitations à ciel ouvert de Moresnet, la nitro-glycérine produisit des effets dix fois plus grands que la poudre. On reconnut qu'elle présentait un avantage encore plus grand dans les roches fissurées, parce que son action est plus instantanée. Dans les roches aquifères, comme elle n'est pas soluble dans l'eau, elle fut également employée avec le plus grand succès.

L'emploi de la nitro-glycérine se serait donc promptement généralisé, si de nombreux accidents ne s'étaient produits par explosion spontanée et accidentelle. Une de ces explosions survenue en Belgique, il y a quelques années, au moment où on allait décharger

plusieurs bonbonnes amenées sur une carrière, suspendit presque complétement l'usage et les expériences.

La nitro-glycérine n'est pas d'un emploi commode parce qu'elle est liquide. C'est une huile plus lourde que l'eau, insoluble dans l'eau et dans l'alcool. Elle fait explosion sous l'action d'un choc violent.

On a donc fait des cartouches en papier ou toile goudronné, en plaçant à la partie supérieure une cartouche de poudre que l'on enflamme à l'aide de fusées. On se dispense en général du bourrage lorsque les trous sont verticaux, et l'on se borne à remplir le trou de sable, ou à en fermer l'orifice avec un morceau de bois, de telle sorte que l'opération du tirage se fait très-rapidement.

Avec ces précautions, la nitro-glycérine peut être appliquée et rendre aux mines des services importants surtout par cette considération que l'énergie de son action permet de réduire la main-d'œuvre nécessaire pour le forage des trous de mine. En joignant à son emploi le havage mécanique, on pourrait arriver à une heureuse simplification des travaux souterrains.

Depuis les nombreux accidents causés par la nitro-glycérine, M. Nobel lui a substitué, en Allemagne, la *Dynamite*, qui est un mélange de nitro-glycérine avec environ un quart de la terre siliceuse d'Oberohe (Hanovre), qui lui donne de la consistance et la rend facile à manier. On en prépare des cartouches avec une capsule à l'intérieur, que l'on enflamme avec une mèche ou une petite charge de poudre. Ces cartouches sont surtout employées dans les terrains humides et les fonçages de puits.

Dans un de ces fonçages, à Freyberg, on a constaté que l'emploi de la dynamite avait déterminé une économie d'environ 25 pour cent. Dans un grand nombre de mines, à Sarrebrück, en Belgique, en Suède, etc., des économies de 20 à 30 pour cent ont été également obtenues.

D'après un travail récent de M. Barbe, exploitant de minerai de fer dans la Meurthe, il résulterait de tous ces essais que la Dynamite aurait un pouvoir brisant quatre à cinq fois plus fort que celui de la poudre ordinaire. Son emploi est déjà très-répandu en Allemagne, où il existe déjà quatre poudrières de dynamite.

EXPLOITATION A CIEL OUVERT.

Lorsqu'un gite est découvert, le procédé d'exploration et d'exploitation le plus simple est d'y pénétrer immédiatement par excavation à *ciel ouvert*. Ce mode s'applique surtout aux couches ou amas superficiels, soit aux gîtes très-puissants.

Dans toute exploitation à ciel ouvert, les principes généraux qui doivent servir de guides sont :

1° Donner aux excavations une forme telle, que les massifs se présentent toujours dégagés sur deux faces ; ce qui conduit à les disposer en gradins ;

2° Ménager des rampes pour les transports, ou, si l'exploitation est trop profonde, établir des treuils d'extraction, en ayant soin de faire, autant que possible, le triage au fond, afin de ne pas avoir à remonter toutes les matières inutiles ;

3° Expulser les eaux atmosphériques et les eaux d'infiltration, soit par des tranchées, soit par des puits absorbants, soit enfin par des moyens mécaniques, après les avoir réunies dans des puisards.

Dans les *carrières,* c'est-à-dire dans les exploitations à ciel ouvert, qui ont pour but d'extraire des roches, remplissant des conditions déterminées de qualité ou de forme, l'abatage est soumis à quelques conditions particulières.

Lorqu'il ne s'agit que d'abattre des roches, comme, par exem dans les carrières de moellons; la disposition des travaux en gradins, les précautions pour ménager des rampes qui facilitent le transport, un aménagement bien entendu des eaux, suffiront pour constituer une bonne exploitation à ciel ouvert. Mais, si l'on exploite de pierre de taille, il ne suffit plus que l'abatage soit économique, il faut encore qu'il fournisse des blocs parés, sains, les plus gros possible, et d'une forme telle, qu'ils puissent être employés avec avantage dans les constructions, soit en les posant suivant leur de carrière, soit en les posant en délit, c'est-à-dire dans le s perpendiculaire.

Un chantier étant préparé par l'enlèvement des terres superfi-

cielles et par l'ouverture d'escarpements qui mettent la roche vive à découvert, on profite d'abord des délits de la stratification et des fissures verticales pour abattre le moellon à l'aide de leviers, de coins et de masses. Arrivé à des parties saines, propres à fournir des blocs pour la taille, on isole les blocs par des entailles faites avec le pic ou la pointerole, et, lorsque ces blocs isolés n'adhèrent plus que par une de leurs faces, on les détache par un effort exercé simultanément sur toute la longueur de cette face, à l'aide de coins, soit par une série de coups de mine. Les entailles isolantes sont d'autant plus larges qu'elles doivent être plus profondes ; lorsque leur profondeur est telle, que l'ouvrier est obligé de s'y engager pour l'achever, une hauteur de 0^m50 est nécessaire pour donner passage au corps.

Cet méthode d'abatage, dite méthode *à la trace*, est d'une application générale pour tous les matériaux d'un grand échantillon. C'est par ces moyens d'entaille et par des efforts simultanés pour détacher ensuite les faces adhérentes, que les anciens extrayaient les immenses pierres d'appareil employées dans leurs constructions, et les monolithes dont ils les ornaient. C'est encore de cette manière qu'on procède pour obtenir les blocs de marbre, de granite, etc., nécessaires aux constructions, à la sculpture ou à l'ornement.

Quand les roches sont tendres, comme, par exemple, le calcaire grossier, les entailles se font aisément avec des pics. La première qu'on doive pratiquer est celle de la base, dite *havage* ou *souschèvement*.

Lorsque ce havage a acquis une certaine profondeur, on soutient la roche avec des bois debout, afin de préserver l'ouvrier qui se trouve engagé dessous ; on pratique ensuite les rigoles latérales. Enfin, pour détacher la masse, on fait à la surface une rainure de 5 à 6 centimètres de largeur, d'une profondeur de 10 à 20, et l'on y enfonce simultanément des coins, en ayant soin de laisser le bloc peser sur la face adhérente ; à cet effet, on enlève les épontilles ou bois de soutenement et on les remplace par des rouleaux.

Quand les roches sont dures, comme le marbre ou le granite, les entailles ou rigoles d'isolement se font, soit à la pointerole, soit à l'aide de la poudre employée à petites charges; on détache ensuite

les blocs isolés à l'aide de coins, et, quelquefois, par des coups de mine alignés, auxquels on met le feu, soit par une même traînée de poudre, soit à l'aide d'une batterie électrique.

L'exploitation des meules à la Ferté-sous-Jouarre fournit un exemple remarquable de cette action simultanée, nécessaire pour détacher les blocs dont la forme a été préparée à la trace et qui n'adhèrent plus que par une de leur faces.

Dans un massif de ces roches siliceuses, dont la surface a été bien dressée, on isole par une rigole circulaire la meule qu'on veut détacher ; puis, après avoir creusé à la base du bloc ainsi isolé, un petit souschèvement horizontal, on y engage une rangée circulaire de coins en bois formés chacun de deux coins superposés. Ces coins sont en bois de chêne très-sec ; après les avoir chassés avec force, on les fait gonfler en jetant de l'eau dans la rigole, puis on achève de détacher le bloc, en forçant des coins en acier entre les coins de bois.

Les ardoisières d'Angers, ouvertes dans des couches de schiste argileux, inclinées de 70 à 80 degrés, peuvent être présentées comme résumant d'une manière complète et sur la plus grande échelle, les conditions d'une exploitation à ciel ouvert.

La surface de la carrière étant déblayée, on pratique au milieu et suivant la direction des couches du terrain, une rigole d'un mètre de largeur, sur une profondeur de 3 mètres ; cette rigole est ce qu'on appelle la *foncée*. De chaque côté de cette première foncée on abat ensuite deux gradins de mêmes dimensions, puis on ouvre une seconde foncée au fond de la première. L'excavation ainsi pratiquée doit avoir une légère inclinaison vers une des extrémités de la carrière qu'on a soin de couper verticalement, afin de pouvoir y établir les moyens d'épuisement des eaux, ainsi que les appareils d'extraction des matériaux.

En continuant ensuite les foncées et les gradins latéraux (on pousse jusqu'à 30 foncées), la carrière présente une série de gradins d'un mètre de largeur sur 3 mètres de hauteur. On abat ces gradins en détachant le schiste avec les coins et les leviers, après avoir isolé de grands prismes par des rigoles. Ce travail est d'autant plus facile qu'outre le système de fissures de la stratification, indiqué

par les délits ou feuillets des ardoises, il en existe souvent d'autres qui facilitent les entailles.

On détache ainsi des prismes qui sont ensuite débités en ardoises dans la carrière même, afin d'éviter les frais de l'extraction de tous les déchets. L'ardoisière s'élargit de plus en plus par l'abatage successif des gradins; elle reste au contraire limitée dans le sens de la longueur, la paroi qui fait face à la paroi verticale d'extraction, étant disposée en rampes, pour la descente des ouvriers.

La profondeur des ardoisières est généralement limitée à un maximum de 80 à 90 mètres, bien qu'à cette profondeur l'ardoise soit de meilleure qualité que dans les parties supérieures; mais les frais relatifs à l'exploitation et à l'entretien augmentant à mesure que les travaux s'approfondissent, il arrive un point où les prix de vente ne suffisent plus pour les compenser.

Dans quelques cas on exploite à ciel ouvert la houille et le sel gemme. La forme des excavations varie alors suivant la disposition des masses dans le terrain encaissant; mais la méthode est toujours ramenée au découvert de l'amas par l'enlèvement du terrain superposé, puis à l'abatage par gradins.

L'exploitation à ciel ouvert ne convient qu'à des couches puissantes, et son opportunité est déterminée par la comparaison des frais de déblai que nécessite le *découvert* de la couche, avec les produits que l'on obtient par ce découvert. Ainsi, par exemple, pour une exploitation de minerai, le découvert coûtait 1 fr. 50 le mètre cube mesuré sur le massif, y compris tous les frais d'abatage, transport et mise en tas des déblais. Chaque mètre carré de la couche produisait 400 hectomètres. Le découvert étant arrivé, par suite de l'inclinaison de la stratification, à une hauteur de 20 mètres, il en résultait que chaque mètre carré de couche mis à découvert coûtait 30 francs, soit par mètre cube 0 fr. 75. A ce taux, il y avait encore avantage à exploiter à ciel ouvert, l'exploitation souterraine devant entraîner plus de 0 fr. 75 centimes par mètre cube de frais supplémentaires.

Au delà de 30 mètres, qui représentaient 50 ou 60 francs de frais de découvert par mètre carré, l'exploitation à ciel ouvert devenait onéreuse, et il y avait avantage à passer à l'exploitation souterraine.

Beaucoup de minerais en amas peu distants de la surface sont exploités à ciel ouvert. Les mines de fer de l'île d'Elbe, la plupart de celles de la Suède, les mines de cuivre de Falhun, sont dans ce cas. La forme du gîte, sa position en plaine ou à mi-côte, sa composition plus ou moins homogène, qui conduit à poursuivre certaines parties tandis que d'autres sont abandonnées, donnent à ces diverses exploitations des aspects très-variés.

Les mines de Falhun, ouvertes suivant une zone de contact, ont l'apparence d'une immense tranchée longue et étroite, poussée à 80 mètres de profondeur et dont les parois abruptes semblent souvent verticales et même surplombantes; des appareils d'extraction sont placés de distance en distance au-dessus de ces vastes excavations. L'abatage du minerai s'y fait actuellement par travaux souterrains, et l'on peut en conclure que cette profondeur de 80 mètres est une limite à peu près générale pour la profondeur des exploitations à ciel ouvert.

Cette méthode conduit en effet à abattre dans les gîtes métallifères une grande proportion de roche stérile; de telle sorte que, plus la profondeur est grande, plus ses avantages disparaissent. Ainsi on exploite à ciel ouvert, près d'Arendal, en Norwége, une réunion de petits filons argentifères dont l'ensemble se trouve compris dans une même excavation; mais, à une profondeur de 10 à 15 mètres, on abandonne les plus pauvres, et on suit seulement les plus riches par des travaux souterrains.

Lorsque l'exploitation se fait sur un gîte placé à mi-côte, elle peut être poursuivie à ciel ouvert pendant bien plus lontemps. C'est dans ces conditions que se trouve la célèbre mine de fer de Rio, dans l'île d'Elbe. La partie centrale du gîte est divisée par des plans horizontaux en cinq gradins de 10 à 13 mètres de hauteur et de 30 à 40 mètres de largeur. Les faces verticales de ces gradins sont ensuite attaquées sur les points les plus riches et découpées en petits gradins ayant les dimensions ordinaires, c'est-à-dire 2 mètres de hauteur. Les divers plans de cette exploitation sont réunis par des rampes qui permettent la circulation des chariots pour les transports.

Pour l'exploitation des roches et pierres de construction, on recherche aussi les escarpements naturels dont l'abatage peut se faire sans découvert préalable.

PERCEMENT DES GALERIES.

Un gîte minéral peut être reconnu par des galerie de traverse ou par des puits qui vont recouper son plan à des profondeurs plus ou moins grandes, ainsi que l'indique la figure 100. Ce plan, une fois recoupé, sera exploré par des galeries d'allongement dont le but est toujours de reconnaître la continuité et la valeur du gîte.



Fig. 100. — Disposition des puits et des galeries pour reconnaître un filon.

Nous examinerons successivement les conditions principales de l'exécution des galeries et des puits.

Une galerie de mine a généralement 1m80 de hauteur sur une largeur, à la base, de 1m60, le plafond étant taillé en voûte ou en ogive. Une fois la direction d'une galerie déterminée, ainsi que ses dimensions et sa pente pour faciliter l'écoulement des eaux, son exécution, si le terrain est solide, n'est plus qu'une affaire de patience. Les mineurs avanceront plus ou moins vite, suivant la résistance des roches.

Dans la plupart des cas, les parois des galeries doivent être soutenues par un boisage ou par un muraillement.

Le boisage s'applique surtout aux galeries ordinaires, de 2 mètres de hauteur sur 1m60 à 2 mètres de largeur, et dans des terrains de consistance moyenne. Le muraillement est en général réservé aux grandes galeries d'écoulement ou de roulage, qui doivent avoir une

longue durée, ou bien à celles qui traversent des terrains sans consistance.

Le boisage est d'une exécution prompte et facile ; il se prête à toutes les exigences des percements ; aussi est-il employé d'une manière générale. Il est même appliqué comme moyen provisoire de soutenement, pour les galeries qui doivent être muraillées.

Lorsqu'on perce une galerie dans un terrain de consistance moyenne, on peut généralement pénétrer à plus d'un mètre sans aucun soutenement, et boiser, par conséquent, à mesure qu'on avance. Supposons d'abord que les quatre faces de la galerie, le toit, le mur et les parois latérales, aient besoin de soutenement : il faudra établir ce qu'on appelle un boisage complet, composé de *cadres* et de *garnissages*. Chaque cadre complet est formé de quatre pièces : un *chapeau* ou corniche, placé au faîte de la galerie ; deux *montants*, ordinairement un peu inclinés pour diminuer la portée du chapeau ; une *sole*, ou semelle placée sur le sol, et servant de base aux montants (fig. 101).



Fig 101.— Boisage complet.

Tous les bois qui composent les cadres doivent être écorcés. Leurs assemblages, très-variables dans leurs formes, se font le plus souvent à *mi-bois*, de sorte que les extrémités de chaque pièce se recouvrent exactement sans se dépasser.

Les chapeaux se font avec les bois les plus forts ; le diamètre ordinaire est de 0m20. Le diamètre moyen des montants est de 0m18 l'extrémité la plus forte étant placée vers le chapeau. La sole reçoit toute la base des montants sur une seule entaille, la galerie étant légèrement creusée dans le milieu, afin qu'elle ne porte sur la roche que par les extrémités.

L'espacement des cadres dépend de la poussée plus ou moins grande du terrain, et varie, en moyenne, de 0m65 à 1 mètre.

Dans certains cas, la poussée des terrains est telle que l'on est obligé de boiser à cadres contigus.

Lorsque les cadres sont espacés, il faut soutenir les parties de roche laissées à découvert entre les cadres, au moyen de bois de

garnissage allant d'un cadre à l'autre. Ces bois sont de fortes planches, appliquées contre le terrain, figure 102, ou mieux encore, des bois ronds simplement refendus, dont on place la partie plane contre la roche.

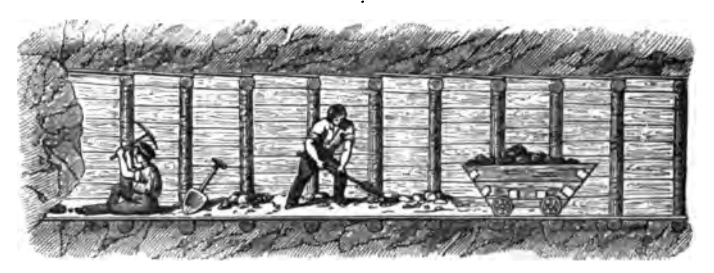


Fig. 102 — Coupe longitudinale d'une galerie en percement, avec boisage complet.

Les bois de garnissage doivent avoir pour longueur minimum l'espacement de deux cadres d'axe en axe, augmenté d'une fois le diamètre des montants, afin qu'ils puissent s'appuyer à la fois sur les deux cadres, et soutenir ainsi les portions de roche intermédiaires.

On remblaye les vides qui existent entre les parois et les bois; puis on chasse des coins entre les garnissages et les cadres partout où il est nécessaire, pour établir l'ensemble du boisage dans un état de tension général contre les parois. Cet état de tension empêche les mouvements partiels et l'irrégularité des pressions, causes ordinaires des ruptures.



Fig. 103. — Boisage sans sole.

La pose du boisage, ainsi composé des cadres et des garnissages, doit avancer en même temps que le percement, et le transport des matériaux à l'extérieur doit être organisé d'une manière commode et économique. La figure 102 indique cette disposition du travail.

Il n'est pas toujours nécessaire que les boisages soient établis d'une manière aussi complète. Lorsque le sol est assez solide pour que l'on puisse supprimer les semelles des cadres, on encastre simplement la base des montants dans des entailles (fig. 103);

d'autres fois une des parois sera assez solide pour qu'on n'établisse qu'un demi-boisage (fig. 104). Enfin il arrive souvent dans les filons que le faîte seul a besoin de soutien, les épontes étant saines et solides ; dès lors on encastre simplement des chapeaux dans des entailles pratiquées en roche solide de manière à en recevoir les deux extrémités (fig. 105).




Fig. 104.— Demi-boisage.



Fig. 105. — Boisage de faîte.

Quant aux bois de garnissage, on les emploie contigus si la roche est ébouleuse, et plus ou moins écartés si elle a quelque solidité, en proportionnant leur nombre, sur chacune des surfaces de la galerie, à l'état plus ou moins fissuré de la roche.



Fig. 106.—Boisage renforcé dans les galeries larges.

Dans quelques circonstances, les dimensions des galeries et les poussées du faîte ou des parois exigent l'établissement de boisages renforcés analogues à celui qui est indiqué figure 106.

Certains terrains, surtout parmi les couches du terrain houiller, se renflent par l'action de l'air humide des mines. Lorsque ces roches forment le sol des galeries, les voies sont soulevées par gonflement du sol, et la circulation se trouverait bientôt impossible si on n'arrêtait ce mouvement ou si l'on ne réparait la voie. Le plus souvent on se borne à défoncer le sol soulevé des galeries, à enlever les déblais et à rétablir les voies; mais il est plus prudent d'empêcher le mouvement en rapprochant

les cadres du boisage et en donnant à leur base une forme plus résistante, telle que celle qui est représentée (fig. 107), forme qui a été employée pour maintenir certaines voies de roulage.



Fig 107.—Galerie de roulage dans un terrain dont le sol pousse.

Quelle que soit la forme du boisage, les cadres doivent être placés bien perpendiculairement à la direction de la galerie; ainsi, par exemple, ils devront être inclinés dans une descenderie ou dans un montage, de manière à soutenir perpendiculairement l'effort du toit et du mur; sans cette précaution, ils seraient exposés à glisser sous l'effort, d'où il pourrait résulter la chute subite du boisage et l'écroulement du faîte ou des parois.

Un cadre dont les pièces commencent à ployer doit être immédiatement renforcé ou remplacé.

Lorsqu'une galerie doit traverser des terrains ébouleux tels que des sables mouvants ou des argiles coulantes, roches qui deviennent encore plus meubles lorsqu'elles contiennent des eaux, il faut nécessairement avoir recours à des procédés spéciaux.

Dans les terrains de cette nature, il faut autant que possible que le boisage précède, en partie du moins, l'excavation. En effet, dans des sables mouvants ou des argiles coulantes, il serait impossible, malgré toutes les précautions, d'avancer en excavant d'abord et boisant ensuite. Les parois latérales et le faîte, s'éboulant d'une manière continue, entretiendraient toujours au fond de la galerie un talus de matériaux meubles, remplacés par d'autres immédiatement après leur enlèvement; le percement deviendrait d'autant plus impossible et dangereux que les premiers déblais détruisent toujours le peu de cohésion que peut avoir la roche. Il faut donc, ainsi que nous venons de le dire, que le soutenement précède l'excavation.

Pour cela, on place à l'entrée de la roche ébouleuse un cadre bien solide; puis, en suivant les arêtes extérieures de ce cadre, on chasse à coups de masse des coins plats, *divergents* et *contigus*, d'environ un mètre de longueur. Ces coins forment à l'a-

vance, en pénétrant dans la roche, un garnissage évasé. Lorsqu'on vient ensuite à creuser pour avancer la galerie, les terres poussent vers l'excavation et pèsent sur les coins; ceux-ci soutiennent l'effort en se rapprochant de la direction normale. Avant que cette direction normale soit atteinte, on se hâte de placer un autre cadre, en renforçant au besoin par des planches contiguës le premier garnissage formé par les coins divergents.

Les coins ainsi employés doivent être en bois dur et un peu vert. une courte pratique indique bientôt quelles sont les dimensions les plus convenables au terrain dans lequel on opère. Enfin, quant à la distance des cadres, elle doit être beaucoup moindre que dans les boisages ordinaires ; il est même telles circonstances où les cadres doivent être contigus et en bois équarris.

Les galeries percées dans les terrains meubles, tels que les sables mouvants aquifères ou les argiles coulantes, doivent nécessairement être muraillées; le boisage n'est alors que provisoire et destiné à faciliter la construction du revêtement en maçonnerie.

Le muraillement est employé pour le soutenement des galeries, lorsque la poussée est trop forte pour être longtemps soutenue par le boisage dont l'entretien devient trop onéreux. Il est également préférable dans les terrains qui s'altèrent et se gonflent par le contact de l'air humide, parce qu'il constitue un revêtement complet qui arrête ces effets. Enfin, pour les galeries qui doivent durer très-longtemps, le muraillement a l'avantage de ne donner lieu qu'à peu d'entretien.



Fig. 108. — Muraillement complet d'une galerie d'écoulement.

Le muraillement complet d'une galerie (fig. 108) se compose d'une voûte établie sur deux pieds-droits pour soutenir le couronnement et les parois, et d'une voûte renversée pour empêcher le gonflement et la poussée du sol.

La voûte renversée du fond est supprimée lorsque le sol ne se gonfle pas, et l'on fonde alors les pieds-droits dans des entailles longitudinales (fig. 109).

obstacle à l'abatage, en second lieu, parce que les eaux d'infiltration, se réunissant sur le fond à excaver, deviennent un embarras permanent pour le travail.

La section des puits varie suivant les usages auquels il sont consacrés. Les uns doivent servir à l'extraction des produits abattus ; d'autres à l'établissement des pompes qui épuisent les eaux ; d'autres à l'aérage des travaux ; la plupart doivent enfin être munis d'échelles pour la descente et la remonte des ouvriers Le plus souvent un même puits réunit plusieurs de ces services.

Les puits sont carrés ou rectangulaires lorsqu'ils doivent être boisés ; quelquefois ce sont des polygones a six, huit, dix, douze pans. Lorsqu'ils doivent être muraillés, ils sont ronds ou elliptiques.

Les puits ronds ont 2, 3 ou 4 mètres de diamètre. Les puits elliptiques ont 2 et 3 mètres de largeur sur une longueur de 4 ou 5 mètres. Les puits boisés ont des dimensions analogues : 2 à 3 mètres de côté lorsqu'ils sont carrés, 2 à 3 mètres, sur 4 à 6 lorsqu'ils sont rectangulaires ; lorsqu'ils sont polygonaux, le diamètre du cercle inscrit dans le boisage varie généralement de 3 à 4 mètres.

L'orifice d'un puits doit toujours être exhaussé au-dessus du sol environnant ; cette disposition facilite le transbordement et le versage des matières extraites, et, au besoin, l'écoulement des eaux. La surface ainsi exhaussée autour de l'orifice d'un puits est ce que l'on appelle la *halde,* ou le *plâtre* du puits.

Les plus grands contiennent à la fois le service d'extraction, celui de l'épuisement et des échelles. On les divise alors en plusieurs compartiments isolés par des cloisons.

Les grands puits destinés à durer longtemps, doivent être, autant que possible, muraillés. Lorsque, au contraire, un puits n'est pas destiné à un service important ou qu'il ne doit durer que peu d'années, le boisage est préférable, parce qu'il coûte moins cher et ne retarde pas le fonçage. Le choix dépend encore du prix des matériaux. Au Hartz, où les bois abondent, on boise même les puits les plus grands et les plus importants. En Belgique, où la brique est à bas prix, on préfère murailler, lors même que le puits n'a pas un grand avenir. Ajoutons enfin que l'aptitude des ouvriers et les habitudes prises sont pour beaucoup dans ces décisions. Dans

à l'exécution ; l'importance de cette étude préalable se trouve en ce moment attestée par le prochain achèvement du percement du mont Cenis. Le succès de l'entreprise n'est pas dû seulement à plication des procédés mécaniques, mais plus encore, il faut le à l'heureux choix du massif géologique à percer.

Le tunnel passe au-dessous du col de la Roue, col autrefois tiqué par les piétons et qui fut, dit-on, celui que choisit A Du côté de Modane, les terrains à traverser étaient formés toute la succession des alternances de grès et schistes du ter houiller. Ces stratifications sont surmontées par des quartzites et des couches gypseuses qui représentent le trias, auquel succède un immense développement de couches de calcaire, et d'argiles schisteuses, endurcies et de couleurs foncées, formant des alternances multipliées, que l'on attribue au lias.

En étudiant les affleurements de ces divers terrains à la surface. au-dessus du parcours du tunnel projeté; en déterminant les directions et les inclinaisons des stratifications les plus apparentes, on avait pu tracer une coupe géologique probable dont la coupe réelle diffère très-peu. Or, cette coupe n'indiquait qu'un seul passage de grande dureté, évalué à 2 ou 300 mètres, épaisseur présumée des quartzites qui représentent les grès bigarrés.

Les faits ont justifié les prévisions et, sur un parcours de 12,200 mètres, le tunnel n'aura traversé que 300 mètres environ de roches réellement dures, dans lesquelles on faisait 50 centimètres par jour, tandis que le côté de Bardonnèche ouvert dans les stratifications multiples des calschistes, obtenait un avancement de plus de 2 mètres.

L'étude géologique du sol et le choix des terrains à traverser aura donc été la base réelle du succès ; car dans des roches dures, dans des masses granitiques par exemple, le tunnel au lieu d'être exécuté en seize années, en aurait exigé plus de vingt, même avec tous les avantages de l'outillage perfectionné.

FONÇAGE DES PUITS.

Le fonçage des puits est beaucoup plus difficile que le percement des galeries : d'abord, parce que le poids des masses est un

une section de 24 mètres carrés, on a adopté le mode de boisage représenté par les deux coupes, figure 111.

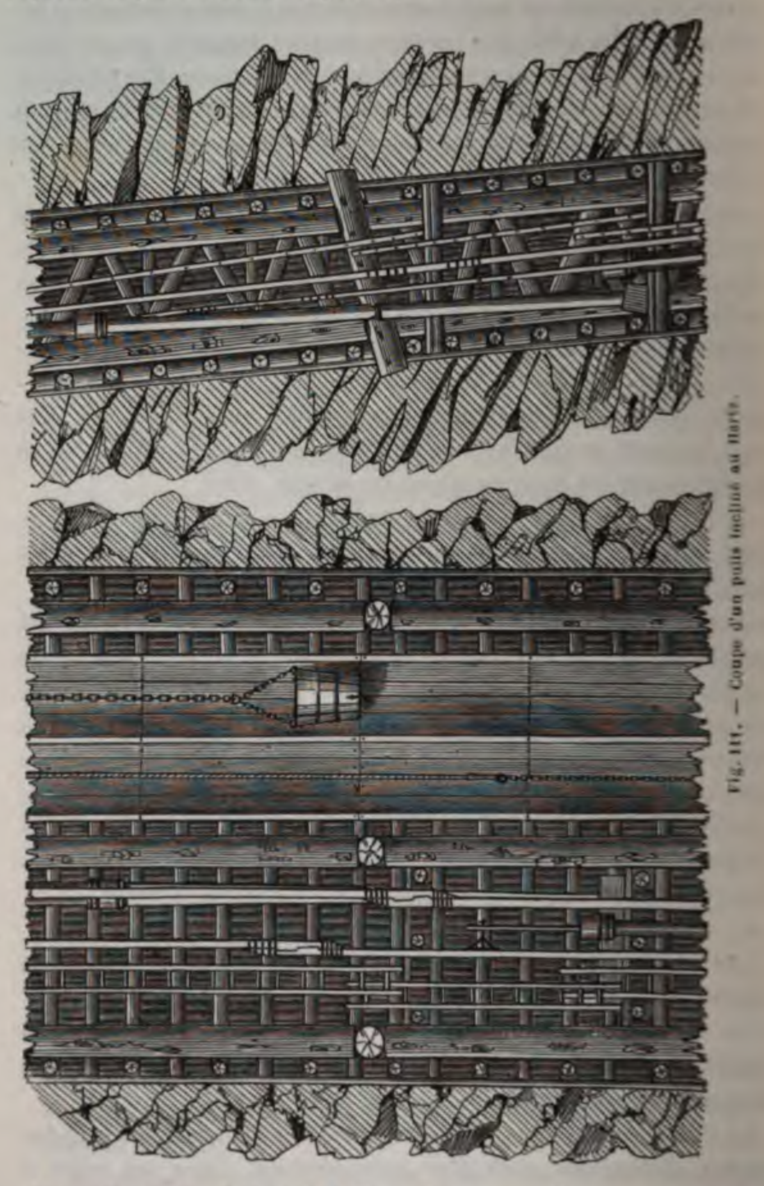


Fig. 111. — Coupe d'un puits incliné au Hartz.

Le puits est incliné et divisé en deux compartiments, dont l'un

est consacré au service des échelles et des pompes d'épuisement, l'autre au service des deux bennes alternantes.

Pour soutenir la poussée de ces énormes cadres, on place aux angles et dans le milieu du puits, sur des pièces porteuses, et potelées dans la roche, des pièces verticales, qui sont butées les unes contre les autres par des poinçons diversement inclinés.

Ces magnifiques boisages, exécutés en sapins écorcés de 0,25 à 0,40 de diamètre, sont à citer parmi les plus belles constructions des mines. Les deux coupes de la figure 111 en font comprendre la disposition, que l'on peut s'imaginer aisément, prolongée sur des hauteurs de 500 et de 700 mètres.

Lorsqu'en un ou plusieurs niveaux, un puits est rencontré par des galeries, on exhausse les galeries, et l'on augmente leur largeur pour établir des *chambres d'accrochage*. Ces chambres sont destinées à recevoir, par les voies de roulage, les matières extraites dans les tailles, et à les charger dans les bennes. A l'étage inférieur, le puits est foncé de plusieurs mètres en contre-bas du sol de la chambre d'accrochage, de manière à former un *puisard*, réservoir dans lequel s'accumulent les eaux. Ce puisard reçoit également les débris de toute espèce qui tombent dans le puits.

Les galeries étant ouvertes à la largeur du puits, les cadres des chambres d'accrochage sont butés contre les cadres horizontaux du puits.

Les boisages des puits sont d'ailleurs soumis à plus de variations encore que ceux des galeries. Entre les grands puits décagones à cadres contigus et les petits puits ronds, creusés dans nos minières, boisés avec des arbres verts roulés et des branchages, il y a, sous tous les rapports, des différences qui indiquent suffisamment qu'outre la considération des difficultés du terrain, l'armature d'un puits doit être proportionnée à sa durée et à l'importance des services qu'il est appelé à rendre.

Le boisage fournit dans la plupart des cas des moyens suffisants pour traverser les couches de sables mouvants ou d'argile coulante que l'on peut rencontrer dans un fonçage; les procédés varient suivant que ce travail doit être exécuté au jour ou à une certaine profondeur.

Le moyen le plus simple est, ainsi qu'il a été dit pour le perce-

ment des galeries dans les mêmes circonstances, d'employer les coins divergents. Ce procédé est même plus facilement exécutable s'il s'agit d'un puits, parce que la pression étant à peu près égale sur toutes les parois, la divergence des coins contigus est uniforme, et la position des ouvriers plus commode pour les enfoncer; c'est même le seul moyen qui permette de traverser des couches très-puissantes, puisqu'il peut se continuer indéfiniment.

L'emploi des coins divergents est beaucoup plus fréquent dans le fonçage des puits que dans les galeries. En effet, on peut presque toujours choisir l'emplacement des galeries de manière à éviter les rencontres de terrains meubles; mais, dans un puits, on n'est jamais certain de ne pas avoir à traverser une ou plusieurs couches de ces terrains. Dans ce cas, on établit un cadre dont le plan doit être bien perpendiculaire à l'axe du puits, et on chasse autour de ce cadre les coins contigus aussi longs que le permet la résistance du terrain. L'excavation est ensuite poursuivie dans l'intérieur de ce garnissage que l'on soutient par un nouveau cadre, aussitôt que la pression du terrain a ramené les coins dans leur position normale. La figure 112 représente la disposition du boisage qui en résulte; on voit que les planches du garnissage doivent être serrées contre les cadres par des coins partout où il est possible d'en introduire.

Fig. 112. — Boisage à coins divergents.

Lorsque la couche de terrain meuble est à la surface et que le puits est à grande section, ce qui arrive, par exemple, pour la couche de sables mouvants que l'on doit souvent traverser dans le département du Nord, avant d'atteindre le terrain houiller, on peut employer d'autres moyens. Ainsi, après avoir fixé bien horizontalement un cadre à l'entrée de la couche meuble, on enfonce verticalement tout autour de ce cadre, et à l'aide d'un mouton, des palplanches contiguës, et même jointives au moyen d'une rainure. Cette armature, circonscrite au cadre, soutient le terrain, qu'on peut dès lors creuser en soutenant le garnissage en pal-

planches par d'autres cadres, à mesure qu'on le découvre par l'approfondissement. Si, au bout de ces premières palplanches, la couche n'est pas encore traversée, on place un nouveau cadre dans l'intérieur des premières palplanches et l'on chasse une nouvelle série de palplanches. Dans ce cas, la section intérieure du puits se trouve naturellement réduite de toute l'épaisseur des cadres et des palplanches.

D'autres fois, après s'être assuré par un sondage de l'épaisseur exacte de la couche meuble à traverser, on construit extérieurement le boisage qui doit en maintenir les parois sur toute la hauteur du fonçage; puis on fait entrer ce boisage dans le sol en déblayant le terrain à l'intérieur. Cet appareil porte le nom de *trousse coupante.*

La surface d'une trousse coupante doit être lisse à l'extérieur, la saillie des cadres se trouvant en dedans. Pour faciliter sa pénétration dans le terrain, on taille la base en biseau et on charge la partie supérieure, de telle sorte qu'à mesure qu'on excave à l'intérieur, la trousse descend par son poids et traverse le terrain meuble. L'important est de l'empêcher de se déverser, et pour cela on la guide par quelques pieux enfoncés à l'avance autour de son périmètre. On peut également maintenir la trousse et la gouverner dans sa descente, au moyen de poids additionnels et d'une forte poutre horizontale posée comme un balancier sur un chevalet : ce balancier la soutient par des chaînes fixées à l'intérieur, au-dessous de son centre de gravité.

Les puits muraillés sont ordinairement ronds ou elliptiques. On forme le revêtement soit en moellons piqués et taillés à l'avance, soit en briques.

La méthode la plus simple consiste à foncer le puits jusqu'à une certaine profondeur, en soutenant les terrains par un boisage provisoire, puis à élever le muraillement à partir du fond. La fondation de ce muraillement est établie sur un cadre dont les pièces sont saillantes et engagées dans des entailles ouvertes dans les parois. Sur ce cadre, on établit un *rouet* ou *rouage* également en bois de chêne et ayant la forme du puits. Il ne reste plus qu'à monter la maçonnerie en ayant soin d'engager de distance en distance des cadres porteurs, pour que les matériaux de la base ne soient pas

écrasés par la charge de tout le muraillement. Si l'on opère sur un fond non consistant, on y enfonce des pilotis, sur lesquels on pose un grillage. Quant au boisage provisoire qui a soutenu les parois pendant le fonçage, on en retire les pièces principales ou bien on le laisse derrière la maçonnerie, en ayant soin de remblayer les vides à mesure qu'on s'élève.

Un puits muraillé présente donc un revêtement en maçonnerie, disposé de manière à offrir toutes les garanties de solidité. Les puits à section circulaire ou elliptique sont ceux pour lesquels le muraillement est le plus usité ; mais, dans certains cas et notamment lorsque le terrain ne pousse pas, on muraille même les puits carrés ou rectangulaires, en ayant soin de donner aux parois les moins solides la forme de voûtes surbaissées.

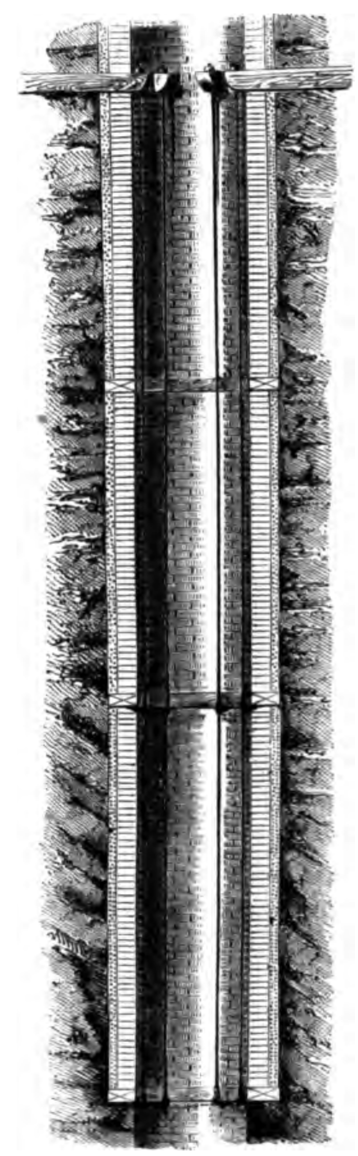
Il arrive souvent que le terrain ne peut attendre le muraillement jusqu'à la fin du fonçage ; on procède alors par reprises, en soutenant les muraillements supérieurs par des consoles qu'on enlève ensuite l'orsqu'on raccorde les deux portions muraillées. Si l'on doit traverser un terrain aquifère dont les sources, n'exerçant pas une forte pression, peuvent être retenues par un bon muraillement, ce muraillement devra se faire par reprises très-rapprochées, de manière à suivre de près le fonçage.

Pour foncer et murailler d'après cette méthode, on commence par établir à l'orifice des moyens d'épuisement correspondants à l'importance des eaux ; on excave ensuite les couches aquifères jusqu'à la rencontre d'un banc solide et imperméable sur lequel on fonde le revêtement de toute la partie supérieure. On continue ensuite le fonçage par reprises successivement et muraillées.

Lorsque les terrains à traverser manquent de solidité il faut, pour éviter tout accident, prendre quelques précautions spéciales indiquées par la figure 113.

On établit d'abord à la surface un cadre très-fort, carré, et dont les côtés font saillie à l'intérieur de la courbe du muraillement ; ou mieux encore, des poutres rayonnantes vers le centre, faisant une saillie d'environ 0m15 en dedans des parois de la maçonnerie, et fortement engagées dans le terrain. Ces saillies sont destinées à recevoir des tirants en fer qui doivent soutenir le muraillement déjà fait, lorsqu'on creuse en dessous, et que le terrain n'est pas assez

solide pour qu'on puisse se fier aux consoles. La figure 113 représente la disposition d'un fonçage ainsi conduit en muraillant par reprises successives, en soutenant les portions de maçonnerie, audessous desquelles on continue le fonçage, par des tirants en fer accrochés aux poutres engagées dans le sol de la halde.


Fig. 113.—Puits foncé et muraillé par reprises successives.

Après avoir traversé un certain nombre de couches, aussitôt que le travail est gêné par les eaux et qu'on a trouvé une couche assez solide, on y fait une banquette sur laquelle on a établi un rouet ayant la largeur du muraillement, plus environ 0m12, au total 0m48, par exemple. La surface supérieure de ce rouet peut être taillée suivant la forme du premier tour de spire d'une hélice ; de telle sorte que les briques du muraillement, au lieu de former une série d'anneaux fermés, soient disposées en hélice continue. Cette méthode évite de couper la brique pour fermer chaque cercle; elle fait donc gagner du temps et supprime les joints défectueux.

A mesure que la maçonnerie est montée, on jette de l'argile dans les vides qui restent entre sa paroi extérieure et la paroi du puits, et on la bourre fortement avec des masses en bois, de manière à ne laisser aucun vide. Enfin, si les sources sont montantes de fond, pour ne pas être gêné dans l'établissement

de ce garnissage extérieur qui doit être imperméable, on dispose à la base un ou plusieurs tubes percés latéralement et placés derrière l'argile : ces tubes dégorgent les eaux dans le puisard, à travers le rouet; lorsque la maçonnerie est terminée, on bouche les trous avec des chevilles.

Avant de foncer le puits au-dessous du rouet, on attache ce rouet aux pièces saillantes placées à l'orifice du puits, au moyen de tirants en fer.

Cette manière de foncer un puits dans un terrain aquifère est une sorte d'introduction à la construction d'un cuvelage. On obtient en effet un revêtement en briques, protégé lui-même par un revêtement en argile, cet ensemble pouvant à la fois contenir les parois et les eaux d'infiltration.

PROCÉDÉS DE SONDAGE.

Les sondages sont employés dans les mines, principalement pour l'étude des terrains et la recherche de gîtes stratifiés, tels que les combustibles fossiles, le sel gemme, etc.; en second lieu, pour l'exploration intérieure des gîtes de toute espèce ; enfin, pour la recherche des eaux artésiennes, recherche qui est encore une application de la géologie.

Les sondes sont naturellement proportionnées aux travaux qu'on entreprend, et, sous ce rapport, on en distingue quatre, qui, d'ailleurs, ne diffèrent guère les unes des autres que par les dimensions des pièces qui les composent. Ce sont :

1° La petite sonde, ou sonde du constructeur, avec laquelle on fore des trous de 10 à 30 mètres de profondeur sur 5 à 7 centimètres de diamètre ;

2° La sonde du mineur, avec laquelle on peut pénétrer jusqu'à 200 et 300 mètres, sur un diamètre de 0m06 à 0m16;

3° La grande sonde, ou sonde du fontainier, qui peut forer des trous de 0m16 à 0m50, et dont la profondeur n'est limitée que par la puissance des apparaux de manœuvre ; cette profondeur a souvent dépassé 700 mètres ;

4° Enfin, la sonde pour le forage des grands puits de 2 à 4 mètres de diamètre.

Toutes les sondes peuvent être assimilées à une tarière ordinaire, dans laquelle on distingue trois parties : la tête, la tige, et l'outil; la seule différence est que, ces diverses parties étant elles-mêmes composées de plusieurs pièces plus ou moins pesantes, il faut y ajouter une chèvre et des appareils pour la manœuvre.

Les *têtes de sonde* doivent satisfaire à deux conditions :

1° Pouvoir être tournées et transmettre à l'outil ce mouvement de rotation ou *rodage* sans le transmettre à la corde ou chaîne qui sert à relever la sonde et à laquelle elle reste suspendue ;

2° Pouvoir être saisies par des leviers à l'aide desquels le mouvement giratoire est imprimé par les ouvriers sondeurs.

On a satisfait à ces conditions en plaçant à la partie supérieure un anneau de suspension et divers assemblages qui permettent de saisir la sonde avec des leviers. Quelquefois la tête de sonde se compose simplement d'une portion de tige terminée par un étrier, le mouvement giratoire étant imprimé par des clefs en fer, ou par des leviers entaillés qui saisissent le carré de la tige.

Les tiges de sonde se composent de deux parties : les tiges proprement dites et les emmanchements qui servent à les assembler entre elles (fig. 114).

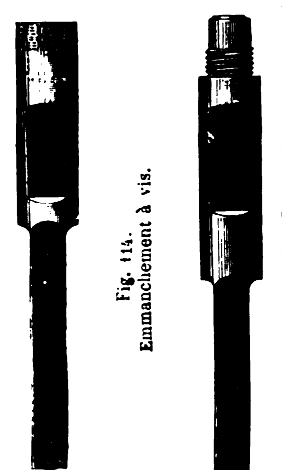
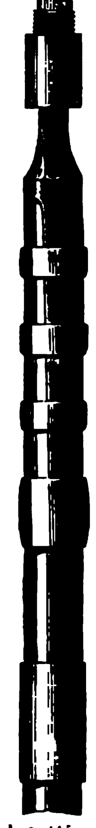


Fig. 114. Emmanchement à vis.

Les tiges sont ordinairement en fer carré dont les angles sont légèrement émoussés et dont la dimension varie de 0m025 à 0m050 de côté, suivant la force de la sonde ; elles doivent être en fer doux, corroyé et éprouvé. Leur longueurvarie de 5 à 10 mètres, suivant la hauteur de la chèvre destinée à les manœuvrer. Pour maintenir la tête de la sonde toujours à la hauteur la plus convenable pour la manœuvre, on doit avoir des rallonges de 0m50, 1 mètre, 2 mètres, 4 mètres, toutes les diverses parties des tiges étant réunies entre elles par des emmanchements identiques.

Les tiges en fer ont une supériorité incontestable sur les autres, jusqu'à une profondeur qu'on peut fixer à 100 mètres, parce qu'elles seules permettent de roder, c'est-à-dire de tourner les outils dans

le trou de sonde pour le régulariser et l'approfondir par l'action des tarières. Le poids de ces tiges étant l'élément principal du poids total d'une sonde, il est essentiel de ne leur donner qu'une dimension proportionnée au diamètre et à la profondeur du trou qui doit être foré. Les grandes sondes artésiennes ont des tiges qui pèsent de 19 à 20 kilogrammes par mètre courant, poids auquel il faut ajouter celui des emmanchements, de la tête de sonde et de l'outil. Dans la petite sonde du constructeur, le poids est seulement de 5 kilogrammes par mètre courant de tige. La sonde du mineur, pour descendre à 200 mètres, pèse environ 12 kilogrammes.


Fig. 115. Tige en bois.

Le poids s'accroît donc rapidement à mesure que la sonde allonge, et toutes les parties supérieures venant à peser sur celles du bas lorsqu'on manœuvre la sonde, les chances de rupture augmentent dans une proportion rapide.

A une grande profondeur, non-seulement le poids des tiges devient trop considérable et tend à écraser les parties inférieures, mais, lorsqu'on vient à battre, c'est-à-dire à soulever la sonde et à la laisser retomber pour défoncer le sol, ces tiges dégradent latéralement le forage par leur fouettement et leurs vibrations, et amènent des éboulements par-dessus les outils. On a cherché à remédier à ce grave inconvénient par l'emploi de tiges plus légères et surtout plus volumineuses. Les trous de sonde étant généralement pleins d'eau, les tiges y perdent une partie de leur poids égale au volume d'eau déplacé; il est par conséquent avantageux d'augmenter ce volume.

M. Degousée est arrivé à ce but par l'emploi des tiges en bois armées de fer ou de tiges en fer creux qui pèsent autant que les tiges en fer, mais qui perdent dans l'eau environ la moitié de leur poids et qui, par suite de leur volume, sont sujettes à beaucoup moins de vibrations.

Les tiges en bois (fig. 115) portent des emmanchements en fer semblables à ceux des tiges ordinaires en fer. Ces emmanchements s'amincissent en forme de coins et pénètrent dans les tiges entaillées, auxquelles on les fixe avec des rivets

et des manchons mis à chaud. Ces tiges sont en outre armées, dans toute leur longueur, de bandes de fer ou platines rivées entre elles. Leur diamètre est de 10 à 12 centimètres.

Les tiges en fer creux présentent les mêmes avantages. Elles sont composées des tubes étirés les plus longs que puisse fournir le commerce, réunis entre eux par des manchons taraudés. Les emmanchements pénètrent dans le vide intérieur et y sont fixés à la fois par des clavettes et par une partie taraudée. Ces tiges, par la résistance de l'eau qu'elles déplacent, ne pèsent dans un trou de sonde que moitié de leur poids réel. Elles ont sur les tiges en bois l'avantage de permettre le rodage.

Dans un forage profond, on a quelquefois composé la tige totale de fortes tiges en fer dans la partie inférieure, et, dans la partie supérieure, de tiges plus légères ou du moins qui déplacent un grand volume d'eau. Cette disposition était motivée par la nécessité de n'opérer le battage, c'est-à-dire le défoncement du sol, que par un poids déterminé et mis en rapport avec les parties inférieures des tiges en fer, qui, sans cette précaution, seraient brisées. Il arrive souvent que les sondeurs procèdent sans calculer ces éléments essentiels et attribuent à une force majeure les nombreux accidents qui surviennent dans le forage. Celui du puits de Grenelle, qui a duré sept ans, fut souvent arrêté par des accidents semblables.

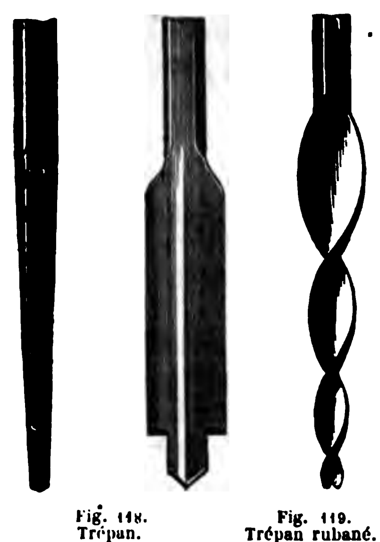
C'est qu'en effet, la faculté de faire des tiges composées, ne suffit pas encore pour rendre maître de ce poids, lorsque le forage est arrivé à de grandes profondeurs, par exemple au delà de trois cents mètres.

On doit à M. d'Œynhausen, ingénieur en Prusse, un procédé qui a permis d'atteindre des profondeurs très-considérables en évitant les accidents qui étaient avant lui un obstacle presque insurmontable.

On divise la tige en deux parties : la partie supérieure est considérée comme devant être équilibrée par un contre-poids, la partie inférieure devant seule agir dans la percussion. On ne laisse pas à cette partie, destinée à défoncer le sol par le battage, plus de 6 à 800 kilogrammes, et la partie supérieure est équilibrée au moyen d'un levier-romaine dont la disposition est indiquée planche XXIV.

C'est entre ces deux portions de la tige qu'on place la *coulisse*

ment employés (fig. 118 et 119) pour montrer les modifications qu'on peut encore leur faire subir. Ces modifications ont d'ailleurs beaucoup moins d'importance que les ouvriers ne semblent y en attacher; des trous de sonde ont été souvent pratiqués dans des terrains très-divers avec des trépans de forme constante.


Fig. 118. Trépan.
Fig. 119. Trépan rubané.

La première forme, qui convient aux terrains les plus durs, est un ciseau simple, ayant pour largeur le diamètre du trou à forer, et terminé par un biseau tranchant; la seconde forme, dite trépan élargisseur, parce qu'elle divise l'action, convient mieux aux roches tenaces : cette forme est représentée figure 118. Quant aux trépans ronds et cannelés, à pointe de diamant ou à taillants croisés, leur utilité est tellement bornée et contestable, que la plupart des équipages de sonde n'en ont pas : nous en exceptons le trépan rubané (fig. 119), souvent utile pour désagréger et pénétrer les roches argileuses.

Les outils pour extraire du trou de sonde les roches désagrégées par l'action des trépans, sont les tarières.

La plupart des *tarières* ressemblent pour la forme à celles qui sont employées pour forer le bois. Elles se composent d'une mèche qui entame par le rodage, d'un mentonnet qui soutient les matières entamées, et du corps de tarière qui les emmagasine en même temps qu'il alèse le trou formé (fig. 120). Il est évident que l'emploi des tarières est borné à l'extraction des matières tendres ou désagrégées par l'action des trépans; leur emploi direct ne produirait aucun effet dans un terrain dur.

Les détails de forme des tarières varient suivant la nature du terrain dans lequel on opère. Ainsi le corps des tarières est ouvert et cylindrique pour les terrains argileux ou calcaires dont les éléments broyés présentent encore de la cohésion; il est fermé

et quelquefois conique pour les terrains sablonneux mouvants et les argiles coulantes. Dans ce cas on est même obligé d'employer des tarières fermées au moyen de soupapes (fig. 121) ou d'un boulet mobile (fig. 122) : de telle sorte que les matières accumulées ne puissent retomber lorsqu'on vient à relever la sonde.

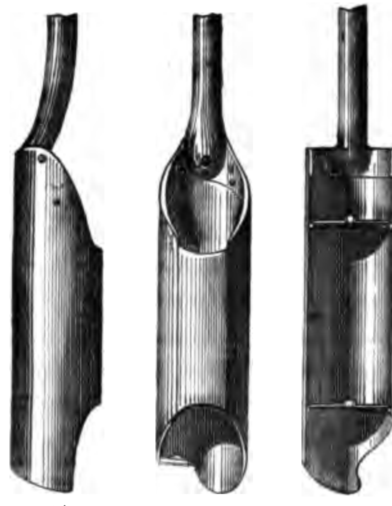


Fig.— 120. Tarière. Fig. 121. Tarière à soupape.

Quelques outils tiennent à la fois des trépans et des tarières; tels sont le trépan rubané, et divers tire-bourres dont l'usage est abandonné.



En général, les tarières portent des emmanchements et sont descendues avec la sonde; on ne peut qu'à cette condition les employer pour égaliser le trou ou pour agir sur le fond par rodage. Mais lorsqu'il s'agit seulement de retirer des sables ou des détritus broyés, et que le trou de sonde assez grand diamètre, on a souvent plus d'avantage à descendre des tarières à corde. Ces tarières sont de simples tuyaux pourvus d'une soupape à boulet à leur partie inférieure (fig. 122); une anse de suspension sert à attacher une corde à l'aide de laquelle on les descend au fond du trou. Une tarière de cette nature étant supposée descendue, on la soulève et on la laisse retomber par son poids; ce mouvement alternatif, comparable à celui du piston

Coupe de la soupape.

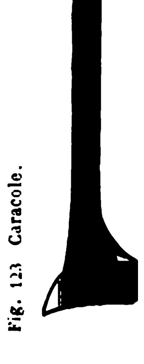




Fig. 122.—Tarière à corde avec soupape à boulet.

d'une pompe, a bientôt fait passer les sables ou détritus dans le corps de tarière, et lorsqu'on juge qu'il est plein on remonte, la tarière pour la vider et la redescendre autant de fois que cela est nécessaire.

Pour élargir un trou on se sert, dans les terrains durs, du trépan déjà indiqué, et de tarières ouvertes d'un diamètre croissant. Enfin, pour égaliser un trou de sonde, lorsqu'on veut y descendre des tuyaux, l'équarrissoir de M. Degousée est le meilleur outil qu'on puisse choisir par la simplicité de sa construction. Cet équarrissoir est composé de deux plateaux ronds en fer, ayant un diamètre un peu inférieur à celui du trou de sonde; ces plateaux, placés à une distance de 1m50 à 2 mètres, sont réunis entre eux par des barres en fer carré, un peu cintrées, et disposées de telle sorte que, par le rodage, elles agissent sur les parois et les égalisent. Il suffit, pour calibrer le forage, de faire agir successivement cet outil dans toute sa hauteur. Si l'on veut ensuite réparer les barres, lorsque leurs angles sont émoussés ou lorsqu'elles sont faussées, le démontage de cet outil est simple et facile.

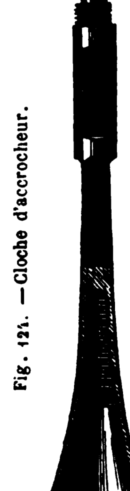

Fig. 123 Caracole.

Les outils destinés à retirer les sondes brisées sont au nombre de trois : la caracole, la cloche d'accrocheur et la souricière.

La *caracole* représentée fig. 123 s'emploie lorsque la fracture est faite dans un emmanchement ou immédiatement au-dessus, de telle sorte qu'on puisse saisir la sonde par l'épaulement qui se trouve au-dessous du renflement. C'est une barre de fer, façonnée en clef horizontale, quelquefois en hélice, mais faisant seulement un tour de spire. Après s'être assuré de la position de la tige restée dans le trou, en descendant dessus la sonde munie d'une pelote d'argile qui prend l'empreinte de la partie brisée, on descend la caracole en la maintenant dans une position convenable pour saisir la tige au-dessous de l'emmanchement.

La *cloche d'accrocheur* (fig. 124) convient lorsque c'est la tige elle-même qui est cassée. C'est un entonnoir taraudé à l'intérieur

et présentant ainsi une filière conique qui, après avoir coiffé l'extrémité de la tige, s'y incruste par le rodage, et y creuse un pas de vis au moyen duquel on retire la sonde après l'avoir saisie.


Fig. 124. — Cloche d'accrocheur.

La *souricière* se compose d'une cloche dans laquelle la tige peut entrer, mais dont elle ne peut sortir, parce qu'elle est arrêtée par des crans en acier, disposés angulairement et pressés par des ressorts. L'acier s'incruste dans la tige et la saisit solidement.

Lorsque ces moyens n'ont pas permis de retirer un outil brisé, il ne reste plus d'autre ressource que de chercher à l'incruster dans les parois du trou, afin de passer à côté et de pouvoir continuer le sondage au delà du point qu'il occupe.

L'outillage dont se compose une sonde une fois établi, il est facile de se rendre compte des conditions principales de la manœuvre et de la conduite d'un forage.

Sur le point où l'on veut forer, on commence par creuser un puits de quelques mètres de profondeur et l'on y place bien verticalement une buse en bois qui a le diamètre maximum des outils, en la soutenant par un cadre en bois placé à fleur du sol, et remblayant ensuite le puits. Sur cette amorce du forage, on place la chèvre qui peut être à deux, trois ou quatre montants. L'important est que cette chèvre soit solidement établie; qu'elle ait assez de hauteur pour qu'on puisse retirer à la fois une tige et un outil placé à son extrémité; enfin qu'elle soit munie d'un treuil pour relever ou descendre la sonde et d'un levier pour battre. La planche XXIV indique une disposition adoptée par M. Degousée.

Descendre la sonde, battre avec des trépans, roder avec des tarières et relever la sonde : telles sont les manœuvres qui doivent être constamment répétées pendant la durée du sondage, et pour lesquelles une installation bien calculée est indispensable afin d'éviter les pertes de temps et d'efforts.

La remonte et la descente de la sonde se font avec un treuil à deux vitesses, afin que quatre, six ou huit hommes puissent remonter toute la sonde, et accélérer la vitesse lorsque la sonde est de-

venue plus légère par la suppression d'une partie des tiges. Pour faire l'emmanchement, on a disposé à l'entrée du trou de sonde un cadre en bois armé de fer, qui s'ouvre à charnière et ne laisse passer que la tige. Sur ce cadre on place horizontalement la clef de retenue, et l'on appuie l'emmanchement à vis sur cette clef, au moyen des épaulements inférieurs. On coiffe la vis avec la boîte, et on tourne avec des clefs dites tourne-à-gauche. Les épaulements du méplat servent à saisir la tige avec la clef de relevée lorsqu'on doit remonter la sonde après avoir enlevé une des tiges supérieures.

Le battage s'exécute au moyen d'un levier spécial. Dans la plupart des cas, on fait agir ce levier au moyen de cames placées sur le treuil. Si la sonde est devenue trop pesante, on y place la coulisse d'Œynhausen, à la hauteur convenable, et l'on équilibre la partie supérieure au moyen d'un levier.

Lorsqu'on doit traverser des terrains ébouleux, il faut maintenir les parois du trou de sonde; on emploie, dans ce but, des tuyaux ordinairement en tôle, quelquefois en bois ou en fonte. Ces tuyaux assemblés, forment une colonne que l'on descend avec la chèvre, après que le trou de sonde a été bien calibré. On réunit successivement les divers tuyaux qui composent la colonne au moyen d'assemblages à recouvrement fixés par des boulons. Ces boulons, descendus à l'intérieur au moyen d'un fil, sont ramenés dans le trou d'assemblage par l'ouvrier, qui saisit le fil avec un crochet; l'écrou, en goutte de suif, est mis ensuite avec une clef spéciale, et l'extrémité du boulon est coupée et rivée.

La descente d'une colonne de tuyaux oblige à diminuer le diamètre du trou de sonde. Ainsi l'épaisseur des tuyaux en tôle varie progressivement de 0^{m}005 à 0^{m}002, pour des tuyaux ayant depuis 0^{m}30 de diamètre jusqu'à 0^{m}10. Ces tuyaux doivent en outre être sensiblement plus petits que le diamètre du trou, de telle sorte qu'on est obligé, à chaque descente de tuyaux, de diminuer le diamètre du forage et par conséquent celui des outils.

Dans certains cas, on peut descendre une colonne de tuyaux et forer encore au-dessous au même diamètre à l'aide d'outils à ressorts qu'on introduit dans la colonne en les forçant. Ces outils, après avoir dépassé la colonne, s'ouvrent et continuent le forage. On fait, au besoin, descendre la colonne de tuyaux à mesure que

l'outil agit, en exerçant sur cette colonne une pression qui facilite son mouvement. Dans les sables mouvants, on peut aussi descendre une colonne en faisant agir en dessous une tarière à boulet, ou plus simplement encore, un seau à soupape manœuvré avec une corde. Un mouvement oscillatoire imprimé à cet outil le remplit comme une pompe, et le sable, raréfié par cette action, permet la descente de la colonne.

Il ne suffit pas de forer le sol, il faut se rendre compte aussi bien que possible de la nature des roches qui sont traversées par la sonde. Or, les tarières ne ramènent au jour que des matériaux broyés dont les caractères minéralogiques et géologiques sont le plus souvent très-difficiles à reconnaître. On s'est donc préoccupé des moyens de se procurer des échantillons en fragments assez gros et taillés de telle sorte qu'on pût y distinguer non-seulement les roches, mais le sens et le degré d'inclinaison de la stratification.

Fig. 125 — Trépan pour échantillons.

Pour cela, on substitue au trépan ordinaire, celui qui est indiqué figure 125.

Cet outil, dont l'intérieur est vide, sert à creuser une rigole circulaire au centre de laquelle reste un *témoin* cylindrique. Lorsque ce témoin est suffisamment découpé, on substitue au trépan une espèce de cloche (fig. 126) dont la partie inférieure porte des lames à ressort. Cette cloche, une fois descendue sur le cylindre de roche, l'arrache de sa base et sert à le ramener au jour au moyen des ressorts placés à la partie inférieure.



Fig. 126. — Cloche.



Si l'on a soin, pendant l'opération du relevage de la sonde, de ne pas la laisser tourner, l'échantillon cylindrique arrivera au jour sans avoir dévié de son orientation; s'il porte des lignes de stratification, on pourra facilement constater quelle est la direction et l'inclinaison de ces lignes.

Nous avons dit qu'on avait quelquefois besoin de forer dans les

mines des sondages inclinés ou horizontaux. Dans ce cas, les outils employés sont ceux que nous venons de décrire ; la manœuvre de la sonde subit seule des modifications.

Ainsi, pour faire un sondage horizontal, on dispose la partie de la sonde qui sort du trou, sur plusieurs poulies ou galets à gorge qui la soutiennent ; mais, dans cette position, l'action par percussion est presque annihilée, et l'on ne peut forer le sol qu'en frappant avec des masses sur la tête de la sonde, surtout, en pénétrant dans la roche par le rodage et en exerçant en même temps une pression sur la sonde.

Dans certains cas, on s'est servi, pour soutenir la sonde, d'une tige ronde passant à travers un tuyau en fonte, suivant l'axe duquel elle était maintenue à l'aide de deux stuffingbox : des chaînes attachées à la tête de sonde et tendues par un contre-poids, permettent d'exercer une pression sur la roche et de faire frapper la sonde au fond du trou.

Pour cela, on fait passer la chaîne tendue sur une poulie à gorge placée sur la tête de sonde. Il suffit alors de tirer la sonde en avant et de l'abandonner à elle-même pour déterminer le battage sur le fond du trou. La partie soutenue et guidée de la sonde étant ronde, le mouvement de rodage est facile à imprimer.

On ne fait jamais de sondages horizontaux dans les roches dures ; ce n'est que dans les roches tendres et surtout dans la houille, le sel gemme, les calcaires, les argiles, etc., qu'on emploie ce genre de forage ; encore a-t-on soin de réduire les diamètres des trous forés, au strict nécessaire.

Les forages les plus considérables qui aient été faits horizontalement, n'ont pas dépassé 30 mètres de longueur sur un diamètre de 0m10 ; ordinairement, ils n'excèdent pas 10 ou 15 mètres de longueur sur un diamètre de 0m035, leur but étant simplement d'explorer le sol en avant des tailles.

Les sondages inclinés sont d'une exécution d'autant plus facile que leur inclinaison est plus forte, et qu'ils se rapprochent davantage de la position verticale.

On a fait plusieurs sondages en Prusse et en France à l'aide du procédé chinois dit *sondage à la corde*. Ce procédé consiste à faire battre un outil dans un trou de sonde au moyen d'une corde armée

de nœuds en tôle, pour empêcher l'usure par le frottement contre les parois du trou. L'outil se compose d'une tige longue de $1^{m}60$ (fig. 127), terminée à sa partie supérieure par un anneau de suspension, et à sa partie inférieure par un écrou destiné à recevoir les trépans. Elle porte en outre deux manchons cannelés destinés à servir de guides dans le trou et prévenir autant que possible, les déviations. La figure 127 représente à la fois la tige porte-outil et les trépans qui s'y adaptent.

Après avoir désagrégé la roche par la percussion du trépan, on descend une tarière à soupape qui, par le mouvement alternatif qu'on lui imprime, ne tarde pas à se remplir des matières désagrégées par l'action des trépans.

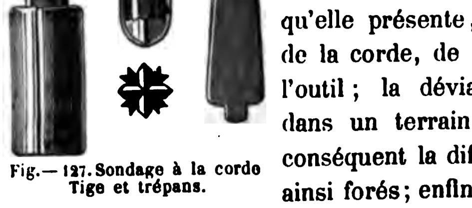


Fig. — 127. Sondage à la corde Tige et trépans.

Cette méthode de sondage à la corde n'a été employée d'une manière suivie dans aucune contrée. Les inconvénients qu'elle présente, dans le cas de rupture de la corde, de la chute d'une pierre sur l'outil ; la déviation possible du forage dans un terrain peu homogène, et par conséquent la difficulté de tuber des trous ainsi forés; enfin l'impossibilité de traverser les sables mouvants et les argiles coulantes, l'empêcheront de prendre aucune extension. Elle ne se recommande d'ailleurs que par l'économie de l'outillage, avantage bien faible, lorsqu'il en résulte une pareille incertitude sur le résultat du travail.

PERFECTIONNEMENTS DE L'OUTILLAGE. — SONDAGES A GRANDS DIAMÈTRES.

L'art du sondage à de grandes profondeurs et sur de grands diamètres a reçu beaucoup d'améliorations dans ces dernières années.

M. Degousée a appliqué la machine à vapeur à la manœuvre de la sonde et a pu, par ce moyen, diminuer dans une proportion con-

sidérable le temps employé au forage ; l'opération du battage se fait ainsi quatre fois plus vite, et les opérations du relèvement et de la descente sont accélérées dans la même proportion.

M. d'Œynhausen a employé pour le sondage des salines des environs de Minden, en Prusse, un balancier très-ingénieux, destiné à la fois à faire battre et à équilibrer une partie de la sonde. D'un côté, ce balancier supportait la sonde, suspendue au moyen d'une chape à vis ; de l'autre, il était équilibré par une cloche ou petit gazomètre en tôle, sous lequel on faisait monter l'eau à une hauteur plus ou moins grande au moyen d'une pompe à air qui faisait le vide à la partie supérieure. Une bielle mise en mouvement par une machine, servait à soulever l'extrémité du balancier de manière à opérer le battage. M. d'Œynhausen a conduit ainsi le sondage de Minden à une profondeur de plus de 700 mètres.

D'autres perfectionnements, apportés par M. Degousée et M. Kind, portent sur la tige de la sonde et les divers outils destinés au forage et au tubage. Ces perfectionnements, d'ailleurs assez complexes, sont décrits avec beaucoup de soin dans le traité spécial publié par MM. Degousée et Laurent, travail auquel nous renvoyons pour tous les développements de l'art du sondeur.

Les perfectionnements apportés à l'outillage par M. Kind, consistent principalement dans l'emploi des *chutes libres*, appareils destinés principalement aux sondages profonds et dont le but est toujours de séparer la tige de sonde équilibrée par un appareil spécial, de l'outil qui agit seul par percussion.

Le premier de ces appareils qui fut employé, était disposé de telle sorte que l'outil de percussion mobile et maintenu entre deux flasques en tôle, avait une course possible d'environ 0m30. Les flasques portaient à leur partie supérieure un système de leviers à crochets pouvant saisir l'outil, le remonter à une certaine hauteur, et le relâchant subitement, lorsque la sonde retombait, abandonnée à son poids. On peut empêcher la partie supérieure de la tige de retomber trop vivement en y fixant de distance en distance des *disques-parachutes*.

Le mouvement des leviers à crochets est obtenu au moyen d'un *parachute mobile* autour de la tige carrée de la sonde. Ce disque tient, en effet, l'articulation commune des deux leviers au moyen

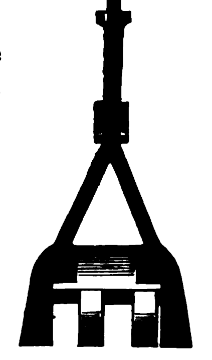
de tringles, ainsi que l'indiquent les figures 128, qui représentent les leviers placés dans l'intérieur des flasques dans les deux positions, c'est-à-dire lorsque le trépan est saisi par les crochets, et lorsqu'il a été abandonné.

Que l'on suppose l'outil saisi par les leviers et remonté à une certaine hauteur avec la sonde. Lorsque la sonde est soulevée, le disque-parachute est maintenu au bas de sa course et les crochets serrent l'outil. Lorsqu'on abandonne la sonde à son propre poids, l'eau, dont le trou de sonde est rempli, obligée de passer dans l'espace annulaire qui reste libre entre la circonférence du disque mobile et le tubage du trou, remonte ce disque à la partie supérieure de sa course, et, dans cette position, les crochets ouverts ont lâché subitement l'outil, dont le poids a été frapper le fond du trou de sonde.

Fig. 128. — Chute libre de Kind.

Tel est le mécanisme ingénieux à l'aide duquel M. Kind a exécuté de nombreux sondages, dont quelques-uns ont atteint 700 et 800 mètres de profondeur. On voit que ce mécanisme rend inutile l'emploi de la coulisse d'Œynhausen, et que l'on peut y régler à volonté le poids de l'outil percutant par la longueur de tige laissée au-dessus du trépan.

M. Kind a augmenté dans beaucoup de cas le diamètre des trous de sonde, en employant des trépans à plusieurs lames assemblées par une même traverse (fig. 129); ces trépans sont guidés par une traverse supérieure perpendiculaire au porte-lames. L'outil représenté ci-contre, d'abord employé pour forer des trous d'un mètre, a été augmenté, successivement de manière à forer des puits de mines.


Fig. 129. — Trépan pour sondage à grand diamètre.

Le puits artésien de Passy, commencé par M. Kind en septembre 1855, pour aller recouper à 600 mètres les sables verts de la formation crétacée inférieure, et amener à la surface le cours d'eau sou-

terrain qu'ils renferment, par un trou de 1 mètre de diamètre, fut le premier forage entrepris à grand diamètre.

L'appareil employé se composait d'un trépan à déclic, du poids d'environ 1,800 kilogrammes. Il était de construction analogue à celui qui est représenté figure 129, et portait sept dents en acier fondu, pesant 8 à 9 kilogrammes chacune. La percussion de ce trépan était obtenue au moyen d'une chute libre dont les crochets étaient manœuvrés par un disque supérieur. Les tiges étaient en bois et fer, avec emmanchements à vis et construites de manière à perdre presque tout leur poids dans l'eau.

Le battage s'effectuait au moyen d'un balancier à ressort, mis en mouvement par une machine à vapeur; on obtenait environ quinze coups par minute. Une autre machine mettait en mouvement deux treuils, l'un pour relever et redescendre la sonde, l'autre pour descendre et relever le câble portant un cylindre à soupapes qui était employé pour le curage du trou de sonde.

Le succès du puits de Passy, terminé au diamètre de 0m70, a marqué une ère nouvelle dans l'art du sondeur. On en a conclu que l'on pouvait forer par la sonde, des puits de 2, 3 et 4 mètres, c'est-à-dire de véritables puits de mines.

Sur beaucoup de points, on est obligé de forer les puits à travers des dépôts tertiaires et secondaires, dont les roches généralement perméables alternent avec des roches imperméables. Dans ce cas, les roches perméables ou fissurées, renferment toujours des niveaux d'eau, véritables cours d'eau souterrains, qui, dès que le mineur a suffisamment affaibli la roche imperméable superposée, soulèvent et rompent cette barrière opposée à leur force ascensionnelle et prennent un niveau plus ou moins rapproché de la surface du sol. Quelquefois, ces eaux se déversent même à la surface et constituent des sources jaillissantes dites artésiennes. Le chapitre IX du tome Ier sur le régime des eaux souterraines, nous a permis d'exposer toutes les conditions de la circulation de ces eaux.

Les appareils de forage ou sondes étaient exclusivement appliqués à la création des puits artésiens. Ces puits, d'abord de faible diamètre, de 0m 10 à 0m 30, ont été exécutés depuis vingt ans, sur des diamètres de plus en plus grands. Le puits de Passy fut commencé, sur plus de 1 mètre pour être achevé à 0m 70; les deux puits

actuellement entrepris pour la ville de Paris, l'un à La Chapelle, par MM. Degousée et Laurent; l'autre, à la Butte-aux-Cailles, près la gare d'Ivry, par M. Saint-Just Dru, ont été commencés au diamètre de 1^m80.

Les outils et procédés employés pour forer des puits de 1^m80 peuvent évidemment être disposés de manière à forer des puits de mine de 3 ou 4 mètres de diamètre.

L'application de la sonde au fonçage des puits à travers les terrains aquifères présente un avantage précieux : il n'est plus besoin d'épuiser les eaux et de dominer la *venue des niveaux* par des pompes assez puissantes pour protéger le travail des mineurs en tenant les eaux *à plat*, pendant le travail du fonçage et du cuvelage. On peut, grâce aux appareils de sondage, forer un puits à *niveau plein*, évitant ainsi les frais et les graves inconvénients de l'épuisement des eaux, épuisement qui délite les roches incohérentes, et détermine des affouillements et des éboulements tels que le travail peut être compromis.

La construction des grands appareils de forage présentait deux difficultés : 1° la forme à donner aux outils qui servent à entailler le sol; 2° la disposition des appareils pour manœuvrer ces outils, qui deviennent d'autant plus lourds que le diamètre du puits est plus considérable. Les conditions principales de cet outillage ont été perfectionnés par MM. Degousée et Laurent, Saint-Just Dru, Kind et Chaudron.

Les trépans employés par MM. Kind et Chaudron, ainsi que par M. Dru, sont à lames rapportées, espacées de telle sorte, qu'en imprimant à l'outil un mouvement giratoire, toute la surface du sol éprouve l'action de la percussion.

Le poids des trépans varie d'ailleurs avec le diamètre des trous et suivant la dureté des roches. Il est, en général, de 3 à 6 tonnes.

La condition essentielle est de forer un puits bien verticalement et exactement cylindrique, conditions réalisées par les derniers fonçages qui viennent d'être heureusement exécutés dans la Moselle.

Dans la concession de Saint-Avold, à l'Hôpital, le premier puits entrepris, le puits d'aérage, a été foncé au diamètre de 2^m56; le second, le puits d'extraction, au diamètre de 4^m 10.

Ces deux puits, forés à l'aide de l'outillage Kind, ont été ensuite, cuvelés en fonte par le système Chaudron.

Le forage a été exécuté sur deux diamètres successifs pour le petit puits et sur trois diamètres pour le grand.

Pour le puits d'aérage, les dimensions des trépans étaient :

Lame du premier trépan 1m26 de longueur; avec les dents 1m37.
Lame du grand trépan 2m40 de longueur; avec les dents 2m56.

Pour le puits d'extraction : aux trépans de 1m37 et de 2m56, précédemment employés pour forer les puits d'aérage, on a ajouté un grand trépan de 4m10.

Ces puits ont été forés en deux et trois années, jusqu'à la profondeur de 160 mètres.

Le point essentiel dans la construction des trépans est la position et l'ajustage des dents sur la lame. MM. Kind et Chaudron ont toujours fixé les dents par des clavettes. Des doubles dents sont placées à la circonférence; elles sont indispensables pour assurer la régularité du trou.

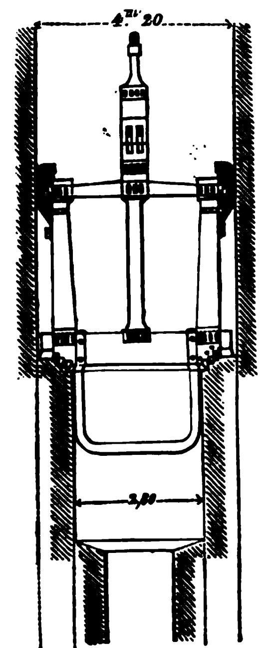


Fig. 130.—Trépan Kind.

Dans un modèle récent, M. Kind a modifié la disposition des trépans et placé les dents des trépans élargisseurs sur lames inclinées, de manière à donner à l'élargissement la forme d'un tronc de cône. Cette modification nous paraît heureuse, en ce qu'elle assurera la verticalité du trou, en ramenant toujours la tige vers l'axe du puits.

La figure 130 représente la disposition et les détails de construction de ce trépan.

MM. Degousée et Laurent, pour forer leur puits de La Chapelle, ont modifié complétement la construction du trépan. S'inspirant des outils employés pour découper des *échantillons-témoins*, au fond d'un trou de sonde, ils ont composé leur trépan de six branches, disposées de manière à broyer le sol suivant une zone annulaire.

Les figures ci-après, 131 et 132, représentent ce trépan en plan et en élévation pour un diamètre de 1m80, qui est celui de la partie supérieure du puits de La Chapelle.

Les six dents encastrées et clavetées dans le porte-lames ont 0m35 de largeur et sont soutenues par les six branches, de manière

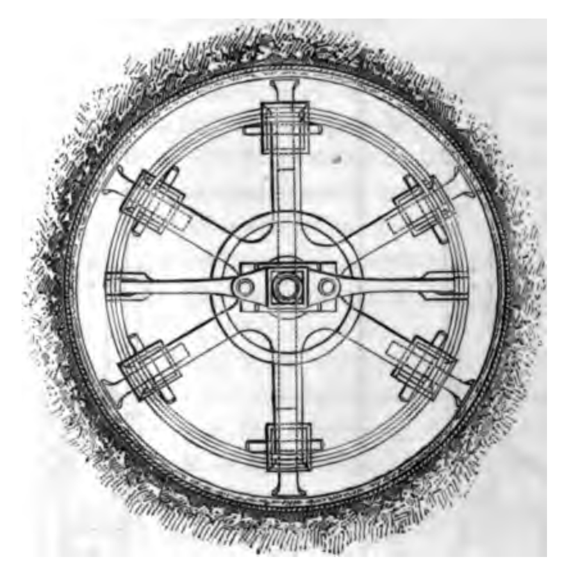


Fig. 131. — Plan du trépan Degousée et Laurent (Puits de La Chapelle).

à présenter toute solidité. Leur percussion, avec le mouvement habituel de rotation, creuse une zone annulaire de 0m45 à 0m50 de largeur ; il reste donc au centre du trou un témoin de 0m80 ou 0m 90 de diamètre. Ce témoin, dans les terrains peu consistants, s'effondre et ne forme qu'un cône irrégulier ; dans ce cas, on boulonne sur un diamètre une lame transversale qui triture le tout.

Cette modification du trépan a nécessité une modification de la tarière ; elle est annulaire et composée de tarières accolées de 0m35 de diamètre.

Le trépan ainsi construit pèse 4,000 kilogrammes. Sa construction complexe et coûteuse ne pourrait guère être appliquée à des forages de 4 mètres, mais pour le forage du premier trou et pour des diamètres de 1m50 à 1m80, il présente évidemment des avantages, en garantissant mieux les conditions de verticalité et de régularité.

Sans s'astreindre à la forme assez complexe du trépan à six

branches, on peut en construire qui seraient formés par le croise ment de deux lames perpendiculaires et qui auraient l'avantage d se tenir bien droits sur le fonds du forage. On pense qu'avec cett

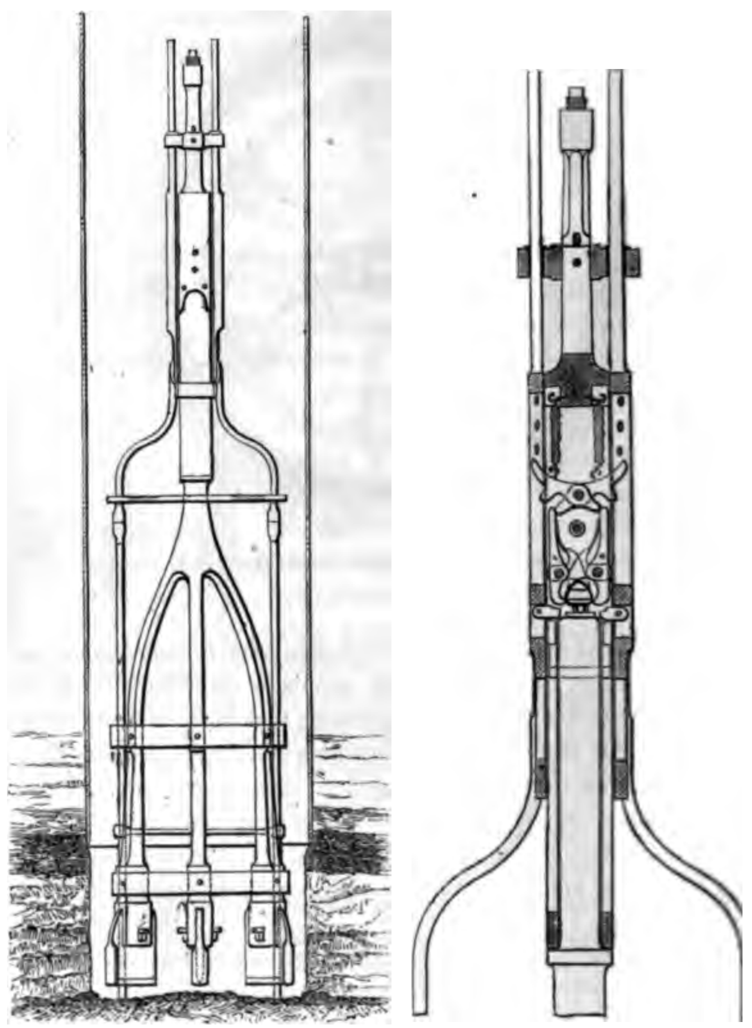


Fig. 132.— Trépan de La Chapelle.

Fig. 133.— Détail de la chute libre

condition, on pourrait forer immédiatement au diamètre de 4 très, sans avoir recours au système d'élargissements succes suivi jusqu'à présent.

La construction de ces trépans doit encore satisfaire aux conditions de manœuvre, dont la principale est de déterminer le mouvement de *battage* ou *frappage* qui désagrége les roches et prépare l'action extractive des tarières à soupapes.

Monter et descendre la sonde, est un mouvement facile qui ne demande que de la précision et de la rapidité dans les manœuvres, mais le mouvement de frappage est plus difficile. Il s'agit de soulever la sonde de $0^{m}25$ à $0^{m}30$ et même de $0^{m}50$; puis de laisser retomber au fond, non pas toute la sonde dont le grand poids et les fouettements latéraux détermineraient toutes sortes d'accidents, mais seulement la partie inférieure, c'est-à-dire l'appareil percuteur dont le poids est réglé d'avance, suivant la dureté plus ou moins grandes des roches.

La *chute libre* de l'outil a été obtenue par des appareils très-divers ; le plus ancien de tous consistait en une coulisse interposée entre l'outil percuteur et la tige supérieure de la sonde qui était équilibrée. Plus tard, M. Kind imagina le disque-parachute, au moyen duquel il obtenait à la descente l'ouverture de deux crochets qui abandonnaient l'outil percuteur. Tous les appareils qui sont actuellement employés, dérivent du même principe ; mais la plupart des sondeurs ont adopté une disposition différente pour obtenir l'ouverture des crochets. Une tige libre, attachée à la tige de sonde par un collier, reste au fond du forage, pendant que la tige est remontée, jusqu'au moment où les crochets venant à heurter le collier, s'ouvrent et abandonnent l'outil.

Telle a été la disposition adoptée par MM. Degousée et Laurent, et indiquée par les figures 132 et 133.

Une pièce mobile embrasse la tige au-dessus des crochets et se termine par une fourche dont les deux branches touchent le fond du trou ; cette pièce n'est pas relevée lorsqu'on soulève la sonde d'une quantité moindre que la course possible du collier qui l'attache.

La partie supérieure des crochets soulevée par la sonde, glissera donc dans le collier et rencontrera un heurtoir qui les fera ouvrir ; aussitôt l'outil tombera de tout son poids sur le fond du trou. La sonde abaissée reprendra ensuite l'outil par ses crochets et la manœuvre sera répétée de manière à obtenir le battage. La fig. 133 donne le détail de la disposition de la tige fixe et des crochets de

la chute libre. Les trous étagés au-dessus des crochets indiquent que l'on peut faire varier la hauteur de chute en faisant varier la position des heurtoirs.

Le puits de La Chapelle a été foré dans des conditions de sûreté et de rapidité qui donnent de l'importance à l'outillage qui a si bien réussi. L'installation mécanique nécessaire pour opérer toutes les manœuvres de la sonde n'est pas moins importante que l'outillage immédiat. Cette installation est représentée par la figure 134, à l'échelled'un centième.

La sonde pour le frappage est attaché à un balancier qui reçoit le mouvement alternatif d'une bielle mise en mouvement par une machine à vapeur. Ce balancier porte à son extrémité, auprès de la bielle motrice, une barre d'attache qui la relie à un contrebalancier d'équilibre, de telle sorte qu'on puisse équibrer le poids des tiges, à mesure que l'approfondissement des puits oblige à les allonger.

Un treuil mis en mouvement par la machine à vapeur, permet de faire descendre ou remonter une moufflc qui porte la clef à l'aide de laquelle on peut saisir la tige de sonde afin de la monter ou de la descendre, à volonté.

La même machine est successivement embrayée, ou débrayée de manière à faire mouvoir le levier de battage ou le treuil de descente et relevée.

Les tiges ont une longueur uniforme de 11 mètres ; on les reçoit à l'aide de deux planchers supérieurs indiqués dans la charpente établie au-dessus du puits.

Avec une installation et un outillage de cette nature, le forage d'un puits est, comme les travaux de mines, un travail de patience. Les manœuvres de frappage par le trépan, de curage par la tarière à soupapes, se répètent constamment, et le forage avance plus ou moins rapidement suivant la nature des roches rencontrées.

Les roches sont, il est vrai, remontées à la surface, après avoir été broyées et concassées en sables, ce qui peut être considéré comme un surcroît de travail, comparativement au fonçage direct. Mais ce surcroît est plus que compensé par l'action méthodique des machines qui réduit considérablement la main d'œuvre; elle est surtout compensée pour les puits de mines, par l'exécution du travail à niveau plein, c'est-à-dire sans épuiser les eaux.

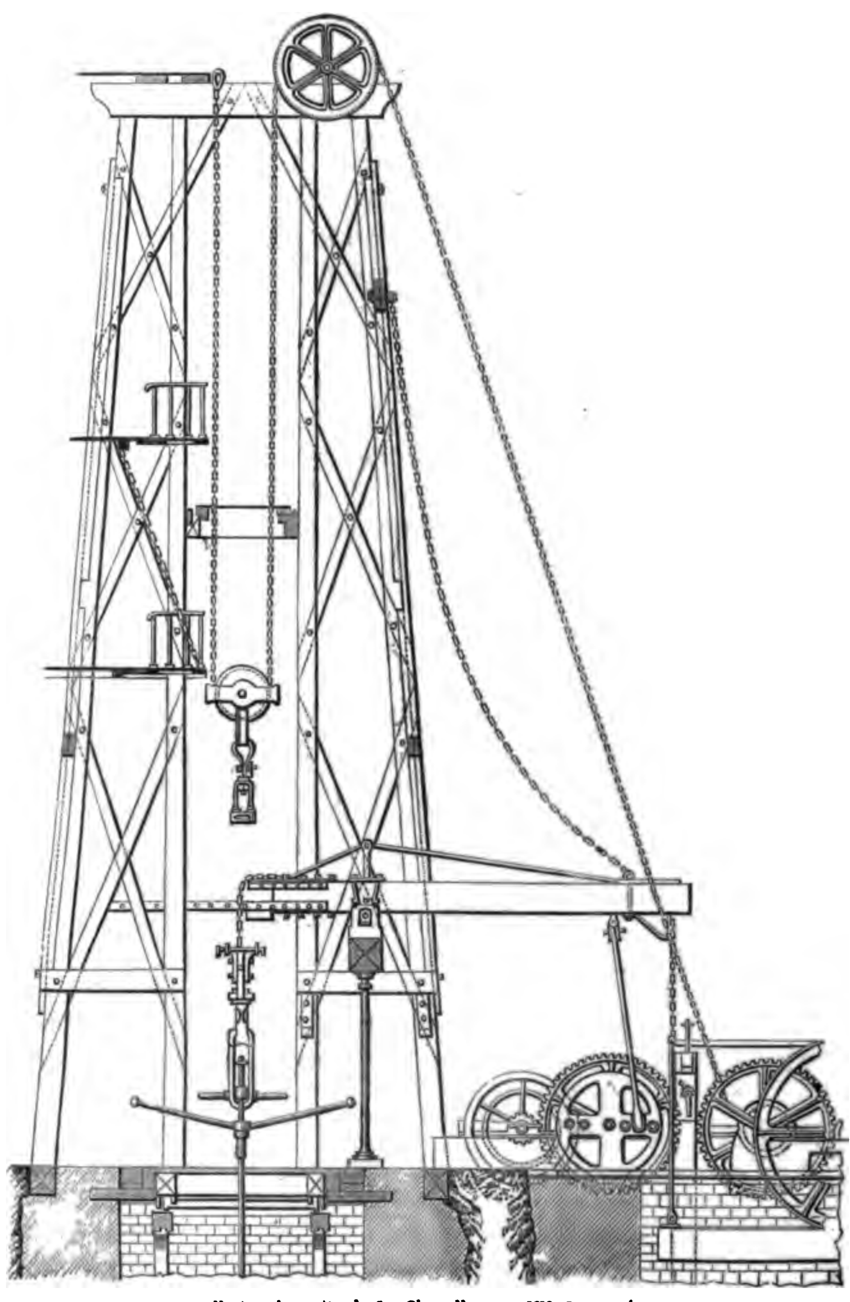


Fig. 138 — Installation du puits de La Chapelle, par MM. Degousée et Laurent.

Nous avons vu, dans la première partie de cet ouvrage, quel était le régime des eaux souterraines, et quelles quantités pouvaient affluer dans le tube d'un puits foncé à travers les couches aquifères. Il en résulterait un obstacle souvent infranchissable, si la sonde ne permettait de traverser ces couches sans épuiser les eaux. L'art des mines a trouvé ensuite le moyen de cuveler les puits ainsi forés, c'est-à-dire de les revêtir d'un tubage avec un joint à la base, dans les terrains imperméables ; de telle sorte que ces puits une fois cuvelés restent secs malgré les torrents qui les environnent.

CHAPITRE VIII

INFLUENCE DE LA COMPOSITION ET DE L'ALLURE DES GITES MINÉRAUX SUR LES MÉTHODES ET PROCÉDÉS D'EXPLOITATION.

La géologie appliquée ne peut être étendue aujourd'hui aux méthodes et aux procédés mécaniques de l'exploitation; mais lorsqu'il s'agit de déterminer ces méthodes et ces procédés, l'ingénieur des mines est toujours obligé de prendre en considération les conditions minéralogiques et géologiques du gîte qu'il exploite.

La plupart des gîtes minéraux sont des couches ou des filons, c'est-à-dire des masses minérales aplaties, plus ou moins puissantes, et comprises entre deux plans à peu près parallèles, le toit et le mur.

Pour les exploiter, il faut enlever les gîtes, c'est-à-dire les épaisseurs comprises entre toit et mur, en laissant à la place les vides plus ou moins écroulés, avec ou sans soutènement, avec ou sans remblais.

Ce travail s'exécutera plus ou moins facilement suivant la nature minéralogique du gîte et suivant sa puissance. La hauteur d'action de l'homme et de ses outils ne dépasse guère 2 mètres; c'est au plus si, à l'aide de quelques artifices, il peut atteindre 3 mètres. A

cette hauteur, les bois de soutenement deviendraient d'ailleurs d'un emploi très-difficile.

La puissance du gîte est donc un élément essentiel lorsqu'il s'agit de fixer une méthode d'exploitation ; l'inclinaison vient ensuite et permet de déterminer le tracé de la méthode.

Un filon est le plus souvent compris entre la verticale et 45° ; une couche peut présenter toutes les inclinaisons. Or, il y a une différence complète, dans les conditions du travail, suivant qu'un gîte est vertical ou horizontal ; l'étude et le tracé géologique d'un gisement d'une couche ou d'un filon sont donc indispensables pour l'exploitation. Cette étude et ce tracé ne pouvant se faire en général que progressivement et à mesure de l'extension des travaux souterrains, il en résulte que la géologie est pour l'ingénieur un guide permanent et obligé.

Lorsqu'il s'agit d'interpréter et de franchir un accident, les discussions géologiques ne peuvent fournir que des probabilités. Les conclusions ainsi déduites, ont un caractère d'incertitude qui a souvent été l'objet de critiques ; cependant, en s'appuyant non-seulement sur les théories, mais aussi sur des exemples, on arrive à donner à ces interprétations une base dont il n'est plus possible de contester l'utilité.

L'étude minéralogique et géologique des gîtes minéraux s'impose encore dans toutes les conditions d'aérage, d'éclairage et d'habitation des travaux souterrains.

Les causes qui vicient l'air des mines sont, d'une manière générale, la respiration des ouvriers, la combustion des lampes et les explosions de la poudre. Ces causes générales n'ont qu'une action lente et faible, le moindre courant peut entraîner au dehors l'air ainsi vicié.

Il n'en est plus de même lorsque la décomposition des roches peut jeter subitement dans l'atmosphère des mines, des masses considérables de gaz délétères. Quelques exemples feront apprécier ce que peuvent être ces décompositions.

Dans les mines d'Almaden, le choc des outils contre les roches cinabrifères, dégage des vapeurs mercurielles tellement pernicieuses que tous les ouvriers sont, au bout de quelques années, affectés de tremblements nerveux. Malgré les précautions prises pour activer l'aérage, malgré une grande réduction dans la durée

des postes de travail, ces actions délétères n'ont jamais pu être efficacement combattues. Dans certaines mines où abonde le mispickel, l'action des vapeurs arsenicales produites par le choc des outils, n'est pas moins funeste.

Les désastres qui peuvent résulter des gaz délétères, prennent un caractère plus violent et plus dangereux lorsque, par des soufflards ou des décompositions spontanées, l'acide carbonique, l'oxyde de carbone et l'hydrogène carboné ou *grisou*, sont subitement lancés dans l'atmosphère des mines.

Ces gaz se dégagent en abondance des combustibles minéraux qui sont aujourd'hui le siége des plus vastes exploitations ; ils se liquatent dans les tailles ou galeries par ordre d'après leur densité et dans l'ordre suivant :

L'hydrogène carboné.	Pes. sp.	0,558
L'azote.	—	0,971
L'air atmosphérique.	—	1
L'hydrogène sulfuré.	—	1,191
L'acide carbonique.	—	1,524
Les vapeurs arsenicales et mercurielles.		

Les précautions générales employées pour se débarrasser de ces gaz à mesure qu'ils se forment, consistent à créer des courants assez énergiques pour amener leur diffusion avec l'air atmosphérique et entraîner le mélange hors des travaux avant qu'il ait pu nuire. Mais ces moyens généraux ne suffisent pas toujours, et il faut leur adjoindre des moyens spéciaux pour éviter ou du moins combattre les dégagements subits, jusqu'à ce que les courants d'air aient rétabli l'équilibre. Il est donc nécessaire de pouvoir reconnaître la présence de chacun de ces gaz, afin de les détruire à temps, et même, s'il se peut, atténuer les causes de leur production.

Lorsqu'on commence un ouvrage de mine, puits ou galerie, si aucun phénomène particulier n'y facilite le renouvellement de l'air, la seule respiration des ouvriers et la combustion de leurs lampes ne tardent pas à le modifier sensiblement. En effet, un ouvrier aspire par heure une moyenne de 800 litres d'air, dont il absorbe en partie l'oxygène (l'air est composé en volume de 79 parties d'azote et 21 d'oxygène), et substitue à cet oxygène, dans le même

espace de temps, 24 ou 25 litres d'acide carbonique ; sa lampe, agissant à peu près avec la même intensité que sa respiration, produit autant d'acide carbonique et augmente en outre la proportion de l'azote isolé.

L'acide carbonique, qui est le produit le plus immédiat et le plus général des travaux de mine, se reconnaît à sa pesanteur : il occupe toujours les parties inférieures des excavations ; son mélange avec l'air est indiqué par la difficulté de la combustion des lampes, dont la flamme contractée éclaire d'autant moins, que la proportion d'acide est plus grande. Les lampes s'éteignent lorsque le mélange est au-dessus d'un dixième. L'acide carbonique se manifeste sur les mineurs par une oppression qui les accable ; le tempérament et l'habitude font beaucoup varier les proportions du mélange que les hommes peuvent respirer ; certains mineurs peuvent travailler encore lorsque les lumières ont cessé de brûler, il en est même dont l'habitude est telle, qu'ils circulent, assure-t-on, dans des galeries où il y a plus de 15 pour 100 d'acide carbonique. Néanmoins on doit veiller, sous peine des plus grands dangers, à ce que les lampes puissent brûler partout avec facilité, et même à ce que la proportion ne puisse jamais dépasser 5 pour 100 ; car ce gaz a les plus grandes tendances à s'isoler en se liquatant, et peut alors causer une asphyxie instantanée.

Un exemple démontrera cette action instantanée. Des ouvriers du Creusot descendent un matin à la suite les uns des autres dans un puits au bas duquel l'acide carbonique s'était accumulé pendant la nuit. Arrivé au niveau du bain, à quelques mètres à peine du fond du puits, le premier tombe frappé d'asphyxie et sans avoir le temps de pousser un cri ; le second le suit immédiatement ; le troisième voit ses camarades à terre presque à portée de son bras, il se baisse pour les saisir et tombe lui-même ; un autre subit le même sort en voulant sauver les autres, et la catastrophe ne se fût pas arrêtée là, si le cinquième n'eût été un maître mineur expérimenté qui obligea ceux qui le suivaient à remonter.

Ces accidents sont souvent à redouter dans les mines de houille, où des dégagements spontanés peuvent produire en peu de temps de grandes quantités d'acide carbonique. Dans ce cas, il faut avoir

à sa portée de l'ammoniaque, de la potasse caustique ou de la chaux ; on en forme à la hâte une dissolution que l'on projette dans le travail envahi, soit en la laissant tomber avec un arrosoir, si c'est dans un puits, soit en l'injectant avec une pompe, si c'est dans une descenderie ou une galerie. Il faut, en outre, combattre incessamment la production de l'acide carbonique et prévenir son accumulation en ne laissant pas de bois en décomposition et en proscrivant toute combustion autre que celle des lampes nécessaires à l'éclairage. Enfin, il faut prévenir les échauffements spontanés et les incendies si fréquents dans les mines de houille, et lorsqu'un incendie s'est déclaré, on doit aussitôt le circonscrire par des murs imperméables dits *corrois*, construits en pierre avec un mortier d'argile.

Les gaz résultant de la combustion souterraine de la houille sont, outre l'acide carbonique : l'oxyde de carbone, l'azote, l'acide sulfureux, et des carbures d'hydrogène. Avant que la houille prenne feu, l'air intérieur est déjà lourd et échauffé par des dégagements gazeux, précurseurs de l'incendie. Aussitôt qne ces symptômes sont remarqués, on doit enlever les houilles abattues dont les gaz se dégagent, et isoler de l'air ambiant les parois ou les écrasées qui renferment le foyer de l'échauffement, en employant à ce travail les ouvriers dont l'organisation est reconnue la plus apte à supporter l'influence délétère de ces gaz.

Il faut enfin essayer de temps en temps l'air qui s'accumule dans les parties les plus basses de la mine, dans le fond des puits, dans les descenderies, et redoubler de précautions, surtout lorsqu'on aborde des travaux où l'on n'a pas été depuis quelque temps.

L'azote est beaucoup moins à redouter que l'acide carbonique, parce que son action sur l'économie animale est moins énergique ; d'ailleurs sa production n'a lieu que par l'absorption de l'oxygène de l'air, et il n'en existe pas naturellement dans les fissures ou cavités des roches. Il n'y a donc pas de dégagement spontané ; mais si l'on vient à pénétrer dans des travaux abandonnés depuis longtemps et où il y a eu combustion, l'azote occupera, en vertu de sa légèreté, les parties supérieures des excavations, tandis que l'acide carbonique occupera les parties inférieures, l'air

respirable formant la zone intermédiaire. L'azote se trouve encore dans certaines mines où il existe des pyrites en décomposition ; les sulfures, se changeant en sulfates, absorbent l'oxygène et isolent l'azote ; le sulfure de fer est, sous ce rapport, l'agent le plus actif.

L'azote se manifeste par la couleur rouge de la flamme des lampes qui finissent par s'éteindre ; il rend la respiration difficile, fait éprouver une pesanteur de tète et des sifflements dans les oreilles qui semblent indiquer un mode d'action différent de celui de l'acide carbonique.

La lampe ordinaire du mineur s'éteint lorsque l'air ne contient plus que 15 pour 100 d'oxygène ; c'est aussi à cette proportion de 85 pour 100 d'azote que l'asphyxie est déterminée.

L'azote, étant plus léger que l'air atmosphérique, est assez facile à expulser et n'est réellement à craindre que dans les montages sans issues supérieures ; il se loge dans les anfractuosités des plafonds et doit être expulsé par la ventilation, aucun réactif n'étant apte à l'absorber.

Les vapeurs arsenicales et mercurielles, produites par les chocs multipliés des outils d'acier contre les minerais riches en mispickel, arsenic natif, cinabre ou mercure natif, ne peuvent être combattues que par un aérage très-vif qui en amène la diffusion et les entraîne au dehors. Il paraît même impossible, quelle que soit la rapidité du courant, d'en éviter tout à fait les actions délétères. On doit donc chercher à en produire le moins possible : employer la poudre pour l'abatage de préférence aux outils, et placer les coups de mine en hehors des veines apparentes de minerai. Il faut, de plus, éviter de briser, dans l'intérieur des travaux, les fragments abattus par les coups de mine, enfin réduire la durée des postes des mineurs et les faire alterner avec les ouvriers ayant séjourné à l'extérieur, pour éviter qu'il restent trop longtemps sous l'influence de l'air intérieur.

Les minerais de cette nature sont en général peu abondants ; cependant, malgré toutes les précautions, on n'a pu éviter dans les mines d'Almaden, en Espagne, l'influence délétère des vapeurs mercurielles sur un grand nombre de mineurs, qui sont atteints de tremblements nerveux et de fièvres pernicieuses.

L'hydrogène protocarboné, désigné par les mineurs sous le nom de *grisou*, est de tous les gaz le plus dangereux, celui qui détermine le plus grand nombre d'accidents, non par l'asphyxie, qu'il pourrait cependant produire lorsqu'il n'est pas mélangé d'au moins deux fois son volume d'air, mais par sa propriété de s'enflammer au contact des flammes d'éclairage, et de détoner lorsqu'il est mélangé dans certaines proportions avec l'air atmosphérique.

Ce gaz, dont la composition est H^4C, pèse 0,5589 · il est assez fréquent dans la nature, et souvent désigné sous la dénomination de gaz des marais, parce qu'il se dégage des eaux stagnantes qui contiennent des matières végétales en décomposition. Quelques volcans boueux, dits salses, l'émettent en grande quantité; enfin il pénètre certaines roches, telles que les houilles et quelquefois les roches salifères ; il y est même accumulé et comprimé dans des cavités et fissures, de telle sorte que beaucoup de sondages en ont déterminé de véritables sources. Il existe de ces sources naturelles ou artificielles, qu'on peut allumer et qui ont assez de persistance pour pouvoir être utilisées.

Le grisou est plus abondant dans les houilles grasses et friables que dans les houilles sèches et maigres ; il se dégage surtout, dans les éboulements et dans les tailles récentes, de toute surface mise à nu, et même assez vivement pour faire souvent décrépiter de petites écailles de houille et produire un léger bruissement. Les fissures ou délits de la houille, et même les fentes des roches du toit ou du mur, donnent quelquefois issue à des *soufflards* ou jets de gaz.

On a souvent remarqué dans l'air où se dégage le grisou, des filaments blanchâtres, des bulles floconneuses qui gagnent le faîte des excavations; ces apparences sont dues à la différence du pouvoir réfringent de l'air et de l'hydrogène protocarboné, jointe à la précipitation d'un peu de vapeur d'eau par suite du refroidissement dû à la dilatation.

Le grisou n'est pas réparti dans les couches d'une manière uniforme ; on a observé que, près des failles, des renflements ou des étranglements, et sur tous les points où la houille était fracturée, le dégagement était beaucoup plus intense.

Enfin on a remarqué, dans certaines mines, qu'il y avait relation

entre la hauteur barométrique et l'activité du dégagement, fait qui s'explique d'ailleurs assez naturellement.

Dans la plupart des cas, le dégagement du grisou se produit avec une pression bien supérieure aux variations barométriques, et, par conséquent, ce dégagement ne peut être modifié d'une manière notable par les faibles variations de la pression atmosphérique ; ainsi dans plusieurs mines le dégagement a eu lieu de surfaces noyées par des colonnes d'eau d'une à deux atmosphères.

Ce qu'on peut appeler régime du grisou est donc très-variable et doit être étudié avec soin dans chaque mine, afin d'éviter les circonstances qui peuvent amener des dégagements subits et considérables.

L'action de ce gaz sur les flammes des lampes, est le guide le plus certain pour en apprécier la présence et la proportion. La flamme se dilate, s'allonge et prend une teinte bleuâtre qu'on distingue très-bien en plaçant la main entre l'œil et la flamme, de manière à n'en voir que le haut. Dès que la proportion du grisou est d'un quinzième dans l'air ambiant, le mélange est explosif, et si une lampe y est portée, il se produit une détonation proportionnée au volume du mélange. Lors donc qu'un mineur a constaté au-dessus de la flamme de sa lampe le nimbe bleuâtre qui décèle la présence du grisou, il doit se retirer en tenant sa lumière très-basse.

Les observations de Davy sur les mélanges du grisou avec l'air atmosphérique ont constaté les faits suivants (ces mélanges étant mis en contact avec une bougie allumée) :

Grisou.		Air atmosphérique.		
1	partie.	30 à 16	parties.	Élargissement progressif de la flamme.
1	»	15	»	Élargissement très-fort.
1	»	9 à 15	»	Détonation croissante.
1	»	8	»	Détonation maximum.
1	»	7	»	Détonation forte.
1	»	6	»	Détonation faible.
1	»	1 à 2	»	Inflamation sans détonation.

D'où l'on voit que les explosions les plus violentes auront lieu lorsqu'un volume de gaz hydrogène protocarboné se trouvera mêlé à sept ou huit volumes d'air atmosphérique.

Les effets chimiques d'une explosion sont : la production directe de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique et l'isolement de l'azote. Les effets physiques sont : une dilatation violente des gaz et de l'air ambiant suivie d'une réaction par contraction. Les ouvriers qui se trouvent dans l'atmosphère explosive sont brûlés, et le feu peut même se communiquer au boisage ou à la houille ; le vent produit par la dilatation est tel, que, jusqu'à des distances considérables du lieu de l'explosion, les ouvriers sont renversés ou projetés contre les parois des excavations ; les murs, les boisages, sont ébranlés, brisés, et des éboulements sont produits. Ces effets destructifs peuvent se propager jusqu'aux orifices des puits par lesquels sont projetés des fragments de bois et de roches accompagnés d'un nuage épais de houille en poussière.

Le mal ne s'arrête pas là : des quantités considérables d'acide carbonique et d'azote, produites par la combustion du gaz, stationnent dans les travaux et font périr par asphyxie ceux qui ont échappé à l'action immédiate de l'explosion. Les courants de l'aérage, subitement arrêtés par cette perturbation, sont d'autant plus difficiles à rétablir que les portes qui servaient à les régler sont en partie détruites ; les foyers d'aérages sont renversés, et quelquefois même, les machines établies à l'orifice des puits pour déterminer la ventilation sont atteintes et dérangées, de telle sorte qu'il devient impossible de porter aucun secours au fond des travaux.

Quelques exemples donneront une juste idée de l'intensité des explosions et de leurs effets.

Dans une galerie d'une mine de Sarrebruck, l'air détonant prit feu à l'arrivée d'un mineur portant une lampe ordinaire. Sept digues en briques, pratiquées dans les tailles latérales et à 6 mètres de la galerie, formaient avec elles les angles aigus, en sorte qu'elles ne pouvaient être atteintes par dilatation de l'air dans le sens de l'explosion, mais seulement par contraction ; elles furent pourtant renversées. A 280 mètres de l'explosion, des bois de 0^m18 furent brisés, une porte d'aérage fut enlevée, et des effets violents de même nature se manifestèrent jusqu'à 500 mètres de distance.

Dans une mine de Schaumburg, le grisou, remplissant une galerie et un puits d'environ 800 mètres de capacité, prit feu en 1839 ; des pierres qui pesaient plus d'une tonne, servant de fondation

à une machine hydraulique du poids de 12 tonnes, furent déplacées, malgré de forts étais en bois qui les consolidaient contre la direction de l'explosion et qui furent eux-mêmes brisés. Dans une autre mine du même bassin, le feu fut mis à la houille, et cette houille fut carbonisée, par l'effet de l'incendie, jusqu'à la profondeur d'un mètre.

Dans les mines où le courant d'air n'est pas assez rapide pour amener la diffusion des gaz, le grisou se liquate et forme, dans les parties supérieures des travaux, des amas de gaz, inflammables et non détonants ; ces gaz, prenant feu, peuvent communiquer la flamme à des distances très-éloignées et dans des atmosphères explosives où toutes les précautions étaient prises. Tel fut, en août 1839, le coup de feu de la mine de Hostenbach: un ouvrier, ayant placé sa lampe vers la partie supérieure d'une galerie, enflamma des gaz qui communiquèrent aussitôt le feu à des gaz détonants situés à un étage inférieur.

Le coup de feu de la mine de l'Espérance, qui eut lieu près de Liége, en juin 1838, ne paraît avoir produit des effets si funestes que par des phénomènes analogues. Le feu, s'étant propagé sans explosion, à droite et à gauche d'une taille par l'effet d'un coup de mine, détermina une explosion dans une taille fort éloignée. Soixante-neuf mineurs furent tués. Dans la taille de l'explosion, ils avaient été brûlés et brisés; dans celle où le feu avait pris en premier, tous les cadavres étaient placés la tête vers l'endroit même où l'inflammation avait commencé, ces malheureux ayant évidemment cherché à se garantir ainsi des gaz qui brûlaient derrière eux. Dans d'autres tailles, les ouvriers n'avaient péri que par asphyxie.

Des accidents nombreux et plus meurtriers que partout ailleurs appelèrent l'attention, en Angleterre, sur le régime du grisou. De nombreuses observations ont été faites, notamment par John Hedley, ingénieur anglais, qui a publié un travail important sur l'aérage des mines. Il y signale d'abord les dégagements subits qui se produisent surtout à l'approche des failles. Un de ces dégagements se produisit en novembre 1846 à la houillère Valker, près Newcastle ; il fut assez violent pour projeter hors de la place une masse de charbon pesant onze tonnes; les ouvriers se retirèrent aussitôt, et l'on observa dans les galeries qu'un volume d'air d'en-

viron 1,100 mètres cubes fut rendu explosif. Le courant d'air étant très-énergique, il n'y avait plus de mélange explosif au bout de vingt minutes. Le mélange produit correspondait à un dégagement subit d'environ 140 mètres cubes de grisou.

John Hedley cite ensuite d'autres exemples où le dégagement dut se produire d'une manière générale et par suite d'un affaiblissement de la pression de l'air; il recommande l'observation du baromètre comme un moyen essentiel de surveillance.

Cependant, malgré toutes les précautions prescrites, les accidents les plus graves n'ont pas cessé de se produire en Angleterre.

La relation de ces accidents et la connaissance des propriétés physiques du grisou suffisent pour indiquer les précautions générales à prendre. Ainsi il est essentiel de ne placer les lampes que vers les parties inférieures des excavations; d'éviter tout mode de travail qui conduirait à pratiquer des montages sans issues; d'exploiter, s'il est possible, en descendant, et de redoubler de précautions, lorsqu'on entre dans des excavations après une interruption dans le travail. Un grand nombre d'accidents ont eu lieu, par exemple, le lundi matin, lorsque les mineurs descendaient après avoir abandonné la mine le dimanche. M. Bischof rapporte qu'ayant été visiter une galerie ainsi abandonnée depuis quelques jours, il trouva les gaz liquatés de telle sorte, qu'ils étaient inflammables dans toute la partie du haut, détonants dans la partie moyenne, tandis que l'air atmosphérique presque pur remplissait la partie inférieure.

Il est très-dangereux de laisser ces liquations se produire; il faut donc que le courant d'air soit continu et assez actif pour produire de suite la diffusion du gaz dans l'air, et son entraînement hors de la mine avant que le mélange ait pu devenir explosif.

Malgré les courants d'aérage, beaucoup de mines seraient inexploitables si l'on n'avait trouvé des moyens spéciaux de se garantir du grisou. Il est, en effet, des moments où le gaz afflue avec une telle abondance dans les tailles, soit par des soufflards mis à découvert, soit par des éboulements qui en émettent subitement une grande masse, soit par une diminution rapide et très-sensible de la pression atmosphérique, que l'explosion serait inévitable toutes les fois qu'il y aurait une lampe allumée. Les couches de houille les plus dangereuses sont d'ailleurs celles qui sont le

plus recherchées par leurs qualités grasses et maréchales. La science et l'industrie ont donc été appelées à rechercher des moyens de combattre les effets du grisou, et nous allons exposer ceux qui ont été successivement employés.

MOYENS DE DÉTRUIRE LE GRISOU. — LAMPES DE SURETÉ.

La première idée qui vint aux exploitants fut de se débarrasser du gaz en laissant la liquation s'établir et en y mettant le feu de manière à le brûler en l'absence des ouvriers. A cet effet, un ouvrier, couvert de vêtements en cuir mouillé, le visage protégé par un masque à lunettes, s'avançait en rampant sur le ventre dans les galeries où le grisou existait, se faisant précéder par une longue perche au bout de laquelle était une torche enflammée ; il sondait ainsi les anfractuosités des plafonds, le front des tailles, et mettait le feu au grisou.

Cette méthode, qui était encore employée il y a cinquante ans dans le bassin de la Loire, présentait des inconvénients nombreux. L'ouvrier qu'on appelait *pénitent*, était exposé à des dangers tels que beaucoup étaient atteints. Lorsque le gaz, au lieu d'être simplement inflammable, était détonant, la solidité de la mine était constamment compromise par les explosions : le feu attaquait la houille et le boisage; les gaz qui résultaient de la combustion stationnaient dans les travaux et menacaient les ouvriers d'asphyxie; enfin il fallait, dans certaines mines, répéter jusqu'à trois par jour cette périlleuse opération, et encore n'obviait-on nullement aux dégagements subits qui causaient encore des accidents nombreux. Cette méthode était également en usage dans les mines d'Angleterre : seulement, le pénitent ou *fireman*, au lieu de porter lui-même le feu, le faisait mouvoir au moyen d'un curseur placé sur une ligne de perches liées bout à bout, et dirigé par un système de poulies et de cordes. Le danger était ainsi moindre pour le fireman, qui se retirait dans une chambre latérale; mais cependant il pouvait encore être atteint, et, d'ailleurs, tous les autres inconvénients subsistaient.

Le moyen dit des *lampes éternelles* était évidemment meilleur. Il consistait à placer vers le toit des tailles, et dans tous les points où le grisou se rassemblait, des lampes constamment allumées qui brûlaient le grisou à mesure qu'il se produisait. Le danger était diminué dans une proportion notable, puisqu'il ne pouvait se former de grandes accumulations de gaz inflammable ou détonant, ce gaz étant brûlé dès qu'il arrivait. On renonça pourtant à ce procédé dans la plupart des mines, parce qu'il déterminait des explosions toutes les fois que le gaz, au lieu de se dégager progressivement, était lancé en grande quantité par des soufflards.

Enfin on avait songé à mettre à profit la propriété que possède le platine en éponge de déterminer la combustion de l'hydrogène avec lequel il est mis en contact, et l'on avait fait des pelotes composées d'une partie de platine et de deux d'argile, qu'on plaçait vers les points de rassemblement du grisou.

Tous les procédés basés sur la combustion du grisou, n'étaient que des palliatifs incomplets, qui substituaient à un grand péril une série d'autres dangers moins imminents sans doute, mais également funestes.

Dès lors on dut chercher des moyens basés sur un autre principe. Deux seulement pouvaient conduire à un bon résultat:

1° L'entraînement des gaz hors de la mine;

2° Un éclairage différent de celui qui était en usage et qui pût suffire au mineur sans compromettre sa sûreté.

Le principe d'entraînement des gaz par un aérage rapide est, sans contredit, le procédé le plus naturel, puisqu'il est déjà appliqué pour tous les autres gaz délétères.

On proposa d'abord d'opérer la décantation des gaz, en faisant communiquer toutes les tailles, par des conduits ascendants, avec une galerie embrassant tous les travaux et communiquant à un puits de sortie; mais ce projet, d'ailleurs impraticable, n'eût remédié qu'à une partie des accidents, l'exécution seule des travaux nécessaires n'aurait pu se faire sans les plus grands dangers, si ces travaux avaient été entrepris dans la houille; tandis que, dans les roches du toit, les frais les auraient rendus inexécutables. Les principes émis par le docteur Vehrle, sur la manière de

profiter, pour conduire les gaz, de leur faible densité, et de se servir des étages supérieurs pour purger les étages inférieurs, au moyen de sondages; sur les proportions à établir entre la section des conduits et des galeries et la quantité des matières gazeuses qui doivent y circuler, ces principes étaient très-logiques, et viennent naturellement à l'idée dès qu'il s'agit de déterminer la marche de l'air dans une mine sujette au grisou.

Un bon aérage ne peut d'ailleurs suffire pour mettre les mineurs à l'abri ; c'est un moyen nécessaire, mais qui laisse toujours sans solution ce problème important : *empêcher l'inflammation des gaz qui se dégagent de la surface des tailles.*

L'éclairage seul pouvait conduire à la solution de ce problème, et de nombreux essais avaient été tentés dans cette voie, lorsque Davy découvrit la lampe de sûreté.

Avant la découverte de Davy, on se servait d'un très-petit nombre de lumières placées dans les endroits les plus bas et à distance des tailles d'abattage. Les ouvriers avaient l'œil sur ces lampes, et, lorsque le nimbe bleu, indice de l'hydrogène, commençait à se montrer, ils les éteignaient ou se retiraient en les couvrant de leur chapeau. On se servait aussi, dans les mines les plus infectées, de diverses matières phosphorescentes, et surtout d'un mélange de farine et de chaux fabriquée avec des écailles d'huîtres, appelé phosphore de Canton, bien que la clarté incertaine et éphémère que produisaient ces matières fût d'une faible ressource. Enfin on avait observé déjà que l'hydrogène protocarboné était d'une inflammation assez difficile, et que la chaleur rouge était insuffisante pour la déterminer; ainsi l'on pouvait porter un charbon rouge, un fer rouge dans le grisou sans l'enflammer, la chaleur blanche ayant seule la température nécessaire. On mit à profit cette découverte en éclairant les tailles au moyen d'une roue d'acier qu'on faisait tourner contre un morceau de grès; un ouvrier était employé à ce travail, et les étincelles, ainsi produites d'une manière continue, fournissaient une faible lueur qui, dans certains cas, suffisait pour éclairer les mineurs. Il arriva bien quelquefois que ces étincelles mirent le feu au grisou; mais cette découverte, toute incomplète qu'elle était, ne fut pas moins un progrès réel.

Tel était l'état de la question ; beaucoup de mines étaient aban-

données malgré tous les palliatifs en usage, et bon nombre de celles qui étaient maintenues en activité ne produisaient la houille qu'au prix de la vie d'un grand nombre d'hommes, lorsque Davy commença la série des expériences qui le conduisirent au but.

Davy découvrit d'abord que le gaz détonant contenu dans un vase, ne communiquant à l'extérieur que par des tubes longs et étroits, ne pouvait pas être enflammé ; que la flamme pouvait d'autant moins se transmettre que les tubes étaient d'un diamètre moindre, et que, par conséqnent, plus leur diamètre était réduit, plus leur longueur pouvait être diminuée. Il arriva ainsi à constater que l'interposition d'une lame de métal mince, percée de trous d'environ un centième de pouce, empêchait l'inflammation du grisou extérieur, lors même que l'intérieur était rempli de grisou enflammé; le refroidissement éprouvé par les gaz dans ce trajet si minime, suffisait pour réduire la température du rouge blanc de l'intérieur au-dessous du rouge à l'extérieur, et l'inflammation ne pouvait se communiquer. Telle fut la série d'idées qui conduisit Davy à entourer la flamme des lampes d'une enveloppe en toile métallique, et à construire la *lampe de sûreté.*

Lampe de sûreté de Davy. — La lampe de Davy, établie suivant les dimensions et les formes reconnues les meilleures dans la pratique des mines, est représentée planche XXV, **fig. 1 et 2.** Elle se compose de trois parties distinctes.

La lampe proprement dite se compose d'un réservoir contenant 160 grammes d'huile, qui peuvent suffire à dix heures de travail; ce réservoir est cylindrique et peu élevé, de sorte que l'huile est toujours près de la mèche. Le porte-mèche est un tube de 0^m005 de diamètre et de 0^m030 de longueur ; il est muni d'une ouverture dans laquelle on peut engager un fil de fer recourbé à son extrémité, pour lever ou baisser la mèche. Ce fil de fer traverse le réservoir, au moyen d'un tube soudé aux plaques du dessus ou du dessous. Un autre tube traverse encore ces deux plaques et sert au passage d'une vis, qui réunit les diverses parties de la lampe et la ferme, de telle sorte que l'ouvrier auquel on la remet pour son poste de travail ne puisse l'ouvrir sans une clef spéciale.

La lampe est coiffée d'un cylindre en toile métallique (pl. XXV, fig. 2) qui contient 144 ouvertures par centimètre carré de surface.

L'épaisseur des fils est de $\frac{28}{100}$ de millimètre, la largeur des trous $\frac{56}{100}$ de millimètre; ce qui fait $\frac{4}{9}$ de plein et $\frac{5}{9}$ de vide. La hauteur de ce cylindre est de 0^m15; le diamètre à la base de 0^m040, et de 0^m035 à la partie supérieure; il est fermé en haut par deux toiles, de telle sorte que, si l'une d'elles était altérée par l'action de la flamme, il y reste encore une fermeture de sûreté. Ces deux toiles sont quelquefois remplacées par un capuchon en tôle, la toile métallique étant maintenue par une virole et repliée en dehors.

Une cage ou armature, composée de petits barreaux fixés sur deux viroles, reçoit le cylindre en toile métallique qu'elle garantit des chocs extérieurs; de plus, elle comprime, au moyen d'un taraudage extérieur engagé dans le taraudage intérieur que présente la lampe, le rebord de la toile sur la surface du réservoir et réunit ainsi les trois pièces; cet état de fermeture est maintenu par la vis précédemment indiquée.

Cette lampe de sûreté, étant portée dans une atmosphère chargée de grisou, fournit des indications précieuses sur les proportions du mélange. La proportion d'air étant supérieure à quinze parties contre une de grisou, la flamme de la mèche se dilate et s'élargit; le mélange étant devenu inflammable, c'est-à-dire contenant un quatorzième, prend feu et brûle dans l'intérieur du cylindre de toile métallique. Les ouvriers doivent alors consulter leur lampe à chaque instant, car d'abord le cylindre n'est rempli que par une flamme bleue au milieu de laquelle on distingue facilement la flamme de la mèche; mais lorsque la proportion de grisou augmente, l'intensité de cette flamme augmente aussi. A la proportion d'un huitième la flamme de la lampe cesse d'être distincte et se perd dans la flamme totale; enfin, la proportion étant d'un tiers, la lampe s'éteint.

Les mineurs ne doivent pas attendre ce moment pour se retirer; mais, dans le cas où ils seraient surpris par un dégagement subit, le maître mineur peut être pourvu d'une lampe armée de fils de platine tournés en spirale au-dessus de la mèche, ainsi que l'indique la fig. 4 de la planche XXV. Le platine, échauffé par la flamme, conserve, au moment où elle s'éteint, la propriété de brûler le gaz

en contact avec sa surface ; les fils restent donc lumineux, et cette faible lueur suffit pour guider la retraite des ouvriers. Lorsqu'on rentre dans une atmosphère plus riche en oxygène, le platine rallume le gaz dans le cylindre, et le gaz rallume la mèche. Il faut employer huit fils de 0m0003 de diamètre, pour conserver une lumière suffisante.

La lampe de sûreté n'est pas exempte de tout danger dans une atmosphère explosive ou inflammable. Ainsi il peut arriver que la chaleur développée à l'intérieur soit telle qu'un ou plusieurs fils déjà affaiblis par l'usure, brûlent et laissent passer la flamme à l'extérieur; un mouvement brusque de l'air a quelquefois chassé la flamme au delà de la toile, notamment lorsqu'un mineur voulait éteindre sa lampe en soufflant ; enfin, des particules, des poussières de charbon, venant se placer sur les fils de la toile, ont pris elles-mêmes feu et l'ont communiqué à l'atmosphère.

Ces divers inconvénients peuvent sans doute être prévenus par un entretien soigneux et attentif ; mais lorsqu'on doit travailler d'une manière continue dans un air explosif ou inflammable, il faut ajouter d'autres garanties à celle de la lampe ordinaire. Pour cela, on recouvre la lampe d'une double enveloppe, celle de l'intérieur étant composée d'un cylindre de cuivre laminé percé de trous rectangulaires (fig. 3, pl. XXV) ; le pouvoir réfrigérant de l'appareil est ainsi augmenté, de telle sorte qu'il n'y a aucun danger de travailler dans les mines les plus infectées.

La lampe de sûreté est devenue, depuis 1815, d'un usage général dans les mines sujettes au grisou ; mais, malgré les précautions minutieuses employées pour son entretien, il est encore arrivé de nombreux accidents. En Angleterre, par exemple, les accidents furent plus nombreux qu'avant l'emploi des lampes de sûreté ; d'abord, parce qu'on reprit à cette époque bon nombre de mines abandonnées, et en second lieu parce que la sûreté dépend non-seulement de l'emploi des lampes, mais aussi de l'exécution sévère des règlements du service d'éclairage, dont les principales clauses sont :

1° Les lampes doivent être fabriquées par des ouvriers experts, avec de la toile vérifiée, en fil de fer ; *leurs dimensions ne doivent*

pas dépasser celles qui ont été indiquées, afin d'éviter la trop grande élévation de la température intérieure.

2° L'entretien des lampes doit être confié à un ou plusieurs ouvriers n'ayant pas d'autre occupation. A chaque poste de travail, ils les livrent garnies, allumées et bien fermées aux ouvriers mineurs, et les reçoivent d'eux à la sortie. Chaque lampe est numérotée, de telle sorte que l'ouvrier reçoit toujours la même. Les altérations autres que celles qui résultent de l'usure naturelle sont à la charge des mineurs, et toute tentative d'ouverture est punie d'une amende.

3° Les mineurs ont ordre de se retirer à un point déterminé de l'état de la lampe; *il leur est expressément défendu de les souffler pour les éteindre.* Dans les tailles, ils doivent les placer un peu loin des fronts d'abatage, à l'abri des chocs et des mouvements vifs de l'air, et vers les parties inférieures de l'excavation. Lorsque l'air est supposé inflammable, ils doivent refroidir de temps en temps la lampe avec un linge mouillé

Si le danger devient manifeste, l'ouvrier doit éteindre la lampe avec de l'eau, ou bien la mettre dans son chapeau, puis se retirer aussitôt, en la tenant très-bas.

4° L'état de l'atmosphère doit être constaté de temps en temps par le maître mineur; qui explorera particulièrement les montages et les anfractuosités du toit; il doit ne le faire qu'avec une bonne lampe de sûreté à double enveloppe. S'il existe des digues ou des corrois, il en surveillera l'état, mais ne devra pas même présenter la lampe de sûreté devant les fissures qui pourraient donner lieu à des soufflards (1). Ces précautions devront être recommandées lorsque le baromètre baisse brusquement.

Pour éviter les pertes de lumière, on a souvent employé des réflecteurs. Ces réflecteurs sont placés dans l'intérieur de la toile métallique, afin d'augmenter le pouvoir réfrigérant de l'appareil en même temps que son pouvoir éclairant. Cette disposition a encore l'avantage d'empêcher ou du moins de diminuer l'action des cou-

(1) C'est en présentant la lampe devant les fissures d'un barrage que M. Lagrange, ingénieur des mines du Creusot, provoqua derrière le barrage une explosion qui renversa ce barrage sur lui et le tua. Cet examen etait fait avec une lampe de sûreté; mais lorsqu'il existe des soufflards inflammables, la flamme traverse même les tissus métalliques

rants d'air qui tendent à faire traverser la toile métallique par la flamme.

Les perfectionnements dont la lampe de Davy est susceptible ont dû naturellement porter sur les inconvénients qu'elle présente et qui sont : 1° la déperdition de lumière, qui varie d'un quart à un tiers de la lumière produite, suivant l'état de la toile ; 2° l'action trop énergique de la flamme sur la partie supérieure du cylindre ; 3° le danger des mouvements vifs et subits de l'air, qui peuvent faire passer la flamme à travers la toile, et surtout la crainte qu'un ouvrier ne veuille souffler sa lampe lorsqu'il s'aperçoit que le grisou brûle à l'intérieur.

Les perfectionnements consistent, jusqu'à présent, dans la substitution d'une enveloppe en verre à une portion de l'enveloppe en toile métallique, et dans l'emploi des cheminées de tirage qui reçoivent le courant des gaz brûlés et les isolent des gaz extérieurs, par la propriété qu'ont les tubes longs et étroits de ne pas laisser passer la flamme.

La première lampe perfectionnée, celle de *Roberts,* avait pour but principal de remédier au passage de la flamme à travers la toile métallique par l'effet de l'agitation de l'air. A cet effet, le cylindre en toile métallique fut enveloppé sur le tiers ou la moitié de sa hauteur, par un tube en verre serré entre deux viroles et garanti des chocs extérieurs par les barreaux de la cage. L'air d'alimentation arrivait à la hauteur du porte-mèche par des trous percés dans la virole inférieure, et était conduit autour de la mèche, après avoir traversé deux toiles métalliques, par un petit cône qui, ne laissant ouverte qu'une zone annulaire, obligeait l'air à raser la flamme.

Des expériences multipliées ont prouvé que les lampes Roberts étaient des plus sûres, et que, dans les circonstances les plus défavorables, elles ne laissaient pas passer la flamme. Mais ces lampes éclairent encore moins que la lampe Davy, et la circulation de l'air y est trop entravée, surtout lorsque la poussière de la houille et l'huile ont obstrué les mailles des toiles intérieures. Tous ces motifs réunis en ont empêché l'emploi.

Lampe Mueseler. — La lampe *Mueseler* (fig. 5, pl. XXV) présente des innovations plus hardies et plus efficaces. La flamme y est contenue par une enveloppe en verre épais, sur-

montée d'une enveloppe en gaze métallique; l'air nécessaire à la combustion entre par la toile métallique, descend le long du verre, et les gaz brûlés s'élèvent, suivant l'axe de la lampe, dans une cheminée en tôle.

La partie supérieure de la lampe est garantie par les moyens ordinaires et une cage préserve l'appareil de sûreté des chocs extérieurs. La hauteur totale de cette lampe est de 0m 25, mais son poids et son volume sont notablement plus forts que dans la lampe Davy. C'est le reproche principal qui lui a été fait par la commission belge qui fut chargée, en 1838, d'expérimenter toutes les lampes de sûreté comparativement à la lampe Davy.

L'enveloppe est en verre recuit, de manière à pouvoir supporter, sans se briser, les différences de température et même la projection de l'eau, lorsque la lampe est surchauffée par le gaz. Cette lampe présente le double avantage d'être, tant qu'elle est intacte, plus sûre que celle de Davy, et de mieux éclairer; lorsqu'elle est placée dans un mélange très-détonant, elle s'éteint.

Les expériences faites sur les lampes Mueseler ont déterminé le gouvernement belge à en prescrire l'usage exclusif dans les mines sujettes au grisou.

Comme elle a l'inconvénient de s'éteindre lorsqu'on l'agite un peu vivement et notamment lorsqu'on court, l'usage de la lampe Mueseler n'est prescrit que dans les tailles et dans les retours d'air; dans les voies de roulage, les autres lampes de sûreté sont admises. Dans ce cas, on se borne à enlever la cheminée ou l'on emploie la lampe Boty.

La lampe *Boty* est la lampe Mueseler, dont on a supprimé la cheminée. Pour faciliter le courant d'air, on perce souvent à la base du cristal de petits trous d'un quart de millimètre de diamètre; mais ces trous se bouchent, et la lampe n'en continue pas moins à brûler.

L'arrêté qui autorise l'emploi de la lampe Boty porte : 1° que les trous percés dans le socle en cuivre qui supporte le cristal auront au plus un tiers de millimètre de diamètre, et seront séparés par des intervalles d'un millimètre au moins ; 2° que la toile métallique de l'enveloppe supérieure présentera au moins 225 mailles au centimètre carré, le fil ayant un diamètre minimum d'un quart de millimètre.

Les mêmes avantages et les mêmes inconvénients existent pour la lampe *Dumesnil*, qui est représentée figure 6, planche XXV. Dans cette lampe, le cylindre de gaze métallique est entièrement remplacé par un tube en verre surmonté d'une cheminée longue et étroite et terminée à sa partie supérieure par un orifice rétréci, tandis que la partie inférieure est un peu évasée en forme d'entonnoir. Un réservoir d'huile extérieur alimente une mèche plate, de chaque côté de laquelle l'air arrive par deux tubes adducteurs dont les ouvertures ont $0^m 019$ sur $0^m 006$, et qui sont pourvus à leur extrémité d'une double toile métallique en cuivre ayant 300 ouvertures par centimètre carré. La lampe est suspendue par la cheminée et le corps est garanti par une armature composée de petits barreaux fixés sur les viroles, entre lesquelles est serrée l'enveloppe en cristal. Cette lampe est employée aux accrochages.

Lampe Dubrulle. — La série des transformations subies par la lampe Davy a quelquefois fait perdre de vue quelques-unes des conditions essentielles de sa construction. On s'est écarté, par exemple, sans motifs suffisants, des dimensions prescrites par Davy à la suite de ses nombreuses expériences.

La toile métallique dont la lampe Davy est recouverte doit avoir au plus $0^m 04$ de diamètre et $0^m 20$ de hauteur, avec une toile de 144 ouvertures au centimètre carré. Quelquefois on a augmenté le diamètre de l'enveloppe, qui a été porté à $0^m 065$, afin d'augmenter le pouvoir éclairant de la lampe. On a en outre affaibli les fils de la toile, tout en conservant le nombre de 144 ouvertures. Le bénéfice de lumière obtenu par cette construction est très-contestable, et l'affaiblissement de la sécurité ne l'est pas.

Le cylindre en toile métallique est d'abord plus faible et donne plus de prise aux altérations, par cela même que sa surface est augmentée ; l'entretien en est plus difficile et moins sûr. Quant au degré de sûreté de la lampe, il est évidemment beaucoup moindre, parce que son pouvoir réfrigérant est diminué proportionnellement à la quantité de gaz qui peut brûler à l'intérieur. La différence des cubes intérieurs, de 468 à 603, exigerait évidemment une toile plus réfrigérante, par exemple celle de 225 ouvertures au centimètre carré, et nous sommes convaincus que plus d'un accident est résulté de cette altération du type de la lampe Davy.

La lampe de M. *Dubrulle* a le double mérite de ramener aux dimensions normales et de présenter des perfectionnements de détail qui ont une importance incontestable.

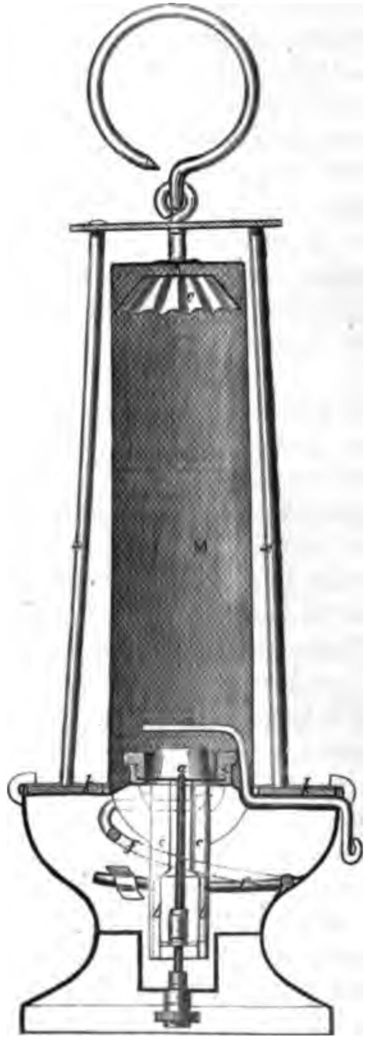


Fig. 136 — Lampe Dubrulle.

Le progrès réalisé résulte de la construction de la mèche et du mode de fermeture.

La mèche est plate et bien calibrée ; elle est manœuvrée par un porte-mèche à vis, elle brûle mieux son huile, et son pouvoir éclairant a été reconnu plus grand que celui de la lampe Davy en brûlant la même quantité. Elle est pourvue d'une mouchette mieux disposée, et brûle pendant onze heures sans affaiblissement de la lumière.

Les figures 136 et 137 expliquent tous les détails de construction de cette lampe. La fermeture est obtenue par une goupille *hi*, sur laquelle agit un ressort en spirale (fig. 137), de telle sorte que, la lampe étant une fois fermée, on ne peut l'ouvrir qu'à la condition d'abaisser le ressort au moyen de la vis. Mais cette vis est celle qui gouverne en même temps le porte-mèche *a*, *b*, *c*, de telle sorte qu'en ouvrant la lampe on l'éteint forcément. Cette condition est d'autant plus précieuse qu'elle obvie à cette solidarité fatale qui, dans une mine sujette au grisou, rend tous les ouvriers victimes de l'imprudence d'un seul.

Les détails de construction de la lampe Dubrulle sont suffisam-

ment expliqués par les figures ci-jointes : la toile métallique M porte à la partie supérieure et dans l'intérieur un petit paraflamme *c*, qui empêche toute altération. La fermeture s'obtient par des emmanchements à baïonnette sur le plateau *k*, qui adhère à la cage *xx*. Ces détails de construction sont reconnus satisfaisants par la longue expérience faites dans un grand nombre de mines où la lampe

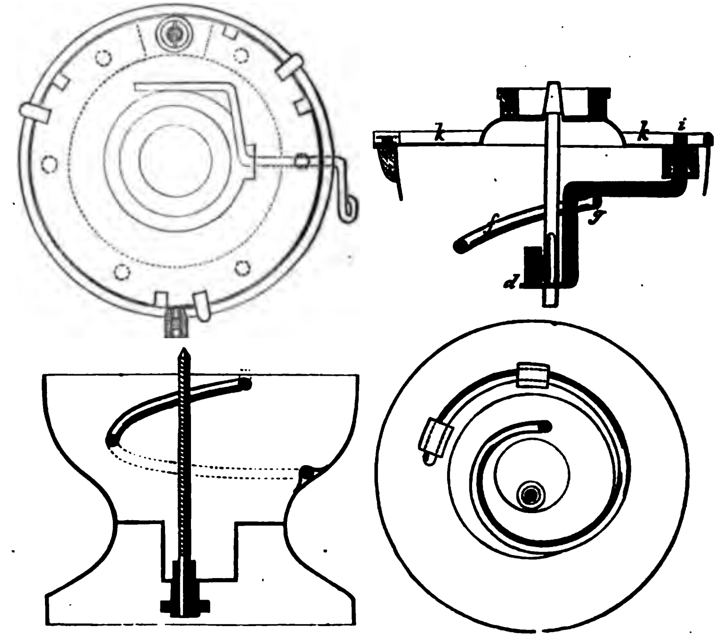


Fig. 137. — Plan et coupe de la lampe Dubrulle indiquant la disposition du porte-mèche, du ressort et de la fermeture.

Dubrulle est exclusivement adoptée; et l'on ne saurait trop insister pour sa substitution au modèle Davy, et surtout aux modèles altérés qui sont en usage dans un grand nombre de nos exploitations.

Nous compléterons ces premières explications par un extrait du rapport fait par la Société des sciences de Lille, qui avait chargé une commission de faire sur la lampe Dubrulle des expériences comparatives :

« La lampe Davy contient 127 grammes d'huile, elle pèse vide 654 grammes, et pleine 781 grammes; sa mèche est ronde, compo-

sée de 16 brins de coton non tressés de 0^m 20 de longueur; on la meut avec un crochet ou fil de fer recourbé.

« La lampe Dubrulle renferme 112 grammes d'huile qu'elle brûle en 14 heures, elle pèse vide 620 grammes, et pleine 732 grammes; la mèche est plate et tressée, et se meut par une vis verticale.

« Les deux lampes ayant été pesées après chaque heure de combustion, la dépense d'huile a été constatée et dans les conditions ci-dessous :

« La lampe Davy a brûlé avec une flamme égale pendant les trois premières heures; les deux heures suivantes, il a fallu très-fréquemment renouveler et moucher la mèche; enfin, dans les deux dernières heures, il a fallu manœuvrer la mèche, environ toutes les dix minutes, pour conserver la même clarté. Après la septième heure, la mèche était complétement brûlée et la lampe s'est éteinte, quoiqu'il restât de l'huile. La longueur de la mèche brûlée permet d'apprécier avec exactitude la gêne et la perte de temps occasionnées par la manœuvre de la mèche. On a relevé chaque fois la mèche d'un demi-centimètre environ, ce qui représente quarante fois en cinq heures ou une fois par chaque sept minutes écoulées; la lampe Davy a brûlé en moyenne 7 grammes 42 centigrammes d'huile par heure.

« La lampe Dubrulle a brûlé constamment, avec une lumière égale, et sans qu'il fût nécessaire d'y toucher, pendant les six premières heures. Dans les cinq heures suivantes, il a fallu lever la mèche d'un millimètre environ, et détacher avec la mouchette un millimètre à peu près de mèche carbonisée. L'expérience a duré pendant onze heures, temps que nous avons pu lui consacrer, et après lequel elle eût encore sans doute brûlé pendant deux heures. La lampe Dubrulle a brûlé en moyenne 7 grammes 44 centigrammes d'huile par heure, et consommé un millimètre de mèche.

« Par la comparaison des ombres projetées, nous avons reconnu que la lampe Dubrulle éclairait environ deux fois plus que la lampe Davy récemment mouchée. Cette expérience comparative a été faite lorsque les deux lampes brûlaient depuis cinq heures. La différence de lumière est due à la disposition des mèches, qui est plate dans la lampe Dubrulle et brûle bien son huile, tandis qu'elle

est ronde comme celle d'une chandelle dans la lampe Davy, et fume par incomplète combustion.

« Pour apprécier le degré de sûreté de la lampe, nous avons rempli d'un mélange à parties égales d'air et de gaz d'éclairage une grande cloche en verre de dix litres de capacité environ, suspendue par son bouton; nous l'avons doucement fait descendre au-dessus d'une bougie allumée, pour bien constater l'explosibilité du mélange; en effet, l'explosion a eu lieu immédiatement. Nous avons opéré ensuite de la même manière, en faisant descendre une cloche semblable, remplie du même mélange détonant, sur la lampe Dubrulle qu'elle recouvrait complétement. Cette lampe avait été allumée depuis deux heures et activée au moment de l'expérience, pour que la toile métallique fût aussi échauffée que possible. Nous avons vu la flamme s'allonger, remplir peu à peu la capacité intérieure de la cheminée métallique, puis décroître et s'éteindre enfin après deux minutes d'immersion dans le gaz. L'explosion n'a donc pas eu lieu, et nous avons constaté de nouveau avec un sentiment d'admiration et de reconnaissance l'immense découverte de Davy. »

Nous ajouterons à ce procès-verbal une seule observation, c'est que l'essai fait par la commission n'a pas été complet, et que, pour apprécier le degré de sûreté d'une lampe, il faut non pas l'éteindre dans le mélange indiqué, mais la faire brûler pendant cinq ou dix minutes dans un mélange explosif.

Depuis ces expériences, M. Dubrulle a un peu modifié la construction de sa lampe, en adoptant un réservoir cylindrique au lieu de la forme indiquée fig. 136, et plaçant sur le côté le bouton et la vis qui servent à manœuvrer à la fois la mèche et le ressort. Il a aussi adapté ses perfectionnements aux modèles Boty et Mueseler.

Malgré toutes les précautions prises, il arrive toujours de nombreux accidents par l'inflammation du grisou, et les exploitants cherchent encore des moyens de sûreté.

Les recherches suivent deux directions distinctes : perfectionner les fermetures, de manière à empêcher les ouvriers d'ouvrir leurs lampes, ou bien modifier la lampe elle-même, de manière à augmenter les garanties de sûreté.

En suivant le premier ordre d'idées, on a été conduit, à Anzin,

à un moyen radical : on ferme par un *point de soudure* qui réunit la lampe à la cage. Lorsque ensuite on veut démonter cette lampe pour la regarnir, l'application du fer permet de dessouder facilement le point de soudure. On le rétablit ensuite, après avoir allumé la lampe pour la remettre à l'ouvrier.

Lampe Morison. — En Angleterre, comme en France et en Belgique, on ne cesse pas de chercher des dispositions nouvelles qui augmentent la sûreté, et en dernier lieu on a cru avoir trouvé la solution du problème par la lampe *Morison*.

Cette lampe est munie de deux cylindres-enveloppes concentriques. La zone qui sépare les deux cylindres est fermée en haut et en bas par deux toiles métalliques que l'air doit traverser pour arriver à la mèche.

Cette construction est de sûreté au plus haut degré, ainsi que le démontrèrent les expériences faites à l'extérieur. Mais la lampe Morison n'a pu résister aux essais faits dans les mines. Les toiles métalliques s'encrassent et s'obstruent rapidement; l'air se raréfie, la lampe s'éteint ensuite au premier mouvement.

Il existe, en Allemagne, plusieurs modèles de lampe qui rappellent en partie la disposition de la lampe Morison. Leur application a rencontré les mêmes obstacles.

Éclairage ordinaire. — L'éclairage des mines, réduit aux conditions ordinaires, est tellement simple, qu'il est à peine besoin de s'y arrêter. Les conditions de construction, auxquelles satisfont d'ailleurs beaucoup de formes de lampes, sont d'être portatives, solides, et de ne pas laisser échapper l'huile quelle que soit leur position, et lors même qu'on les laisse tomber ; enfin d'avoir une capacité suffisante pour contenir de l'huile pour dix heures.

La forme la plus ordinaire des lampes, est celle d'un ellipsoïde très-aplati, horizontalement suspendu à une fourche qui tient elle-même à un crochet. La mèche est ronde; elle trempe directement dans l'huile et passe avec frottement à travers un porte-mèche fixe; une aiguille pour la gouverner, suspendue à une petite chaîne, complète l'appareil.

La consommation pour une lampe d'un bon calibre est d'environ 160 grammes pour dix heures de travail. Il est d'usage de donner

aux mineurs l'huile en compte ; de cette manière on évite le gaspillage, et l'on est arrivé à réduire la consommation moyenne à 70 grammes par poste de huit heures et par homme, car il n'est pas nécessaire d'avoir dans un chantier autant de lampes que d'ouvriers.

Les lampes de mine ont évidemment besoin d'être perfectionnées. La mèche se charbonne trop facilement, elle est toujours ou trop serrée ou trop lâche dans le porte-mèche, parce qu'elle n'est jamais calibrée ; enfin elle se gouverue mal avec le simple crochet dont on se sert. Il serait à désirer que l'on se servît de lampes mieux construites, à mèche plate calibrée ; les mineurs y verraient beaucoup mieux, avec la même consommation d'huile.

Dans quelques mines on brûle de la chandelle ; ces chandelles sont courtes et petites ; on en fait environ 200 par kilogramme, et les ouvriers en consomment 25 par poste. On les brûle sur des chandeliers armés d'une pointe horizontale que les mineurs enfoncent dans les boisages ou dans les fissures de la roche.

AÉRAGE SPONTANÉ.

Tout ce qui a été dit précédemment sur les conditions de l'air dans les mines démontre que, dans tous les cas, il faut arriver à entretenir dans les ateliers d'abatage et dans les voies de service un courant d'air assez actif pour amener la diffusion des gaz méphitiques avec l'air atmosphérique et l'entraînement de ce mélange avant qu'il ait pu devenir dangereux. Il faut donc qu'il entre constamment dans une mine un certain volume d'air pur, afin de remplacer l'air vicié qui est rejeté au dehors. La création de ce mouvement continu constitue l'*aérage*.

L'aérage ne consiste pas seulement dans la création des courants d'air ; il embrasse encore les méthodes de distribution de ces courants dans les travaux souterrains, et tous les moyens qui peuvent en rendre la circulation plus simple et plus efficace. Avant de s'occuper des directions à donner aux courants, il convient de décrire les principes et les procédés qui servent à les produire ou à les activer.

L'aérage d'une mine est le plus souvent *artificiel;* il est quelquefois *spontané.*

Lorsque des travaux souterrains sont à grande section, que les puits sont peu profonds, les galeries droites et surtout peu développées, il se produit presque toujours des courants d'air naturels qui résultent de ce qu'on appelle l'aérage spontané. Cette circulation naturelle de l'air naît elle-même de la température qui reste toujours la même dans les mines, tandis que la température extérieure varie dans des limites très-éloignées, d'une saison à l'autre, et dans des limites moins distantes du jour à la nuit.

En effet, dans les travaux souterrains, la température des roches s'élève à mesure qu'on descend; cette augmentation est générale, et elle a lieu, suivant la même progression, dans toutes les parties du globe où il y a des exploitations et où l'on a pu faire des expériences. Ainsi dans les mines métallifères de la Saxe et de la Bohême, dans celles du Cornwall, de Poullaouen en Bretagne, dans les profondes mines de houille du nord de la France et de la Belgique, dans les mines d'argent du Mexique, etc., des thermomètres placés dans des trous de mine, ou dans des endroits où l'air n'était pas renouvelé, ont toujours indiqué une température croissante à mesure qu'on descendait, et l'augmentation a été en moyenne d'un degré par 30 mètres de profondeur (1).

La température des roches est donc généralement, à 50 mètres de profondeur, de 10° à 12°; à 100 mètres, de 13° à 15°; à 200 mètres, de 16° à 18°; à 300 mètres, de 19° à 22°; à 400 mètres, de 23° à 25°. La température de l'air dans les travaux est encore supérieure à ces chiffres dans les endroits où il n'y a pas une circulation active, parce que la présence des ouvriers et des lampes amène presque toujours un suréchauffement. Ainsi, dans les mines de houille du Grand Hornu (Mons), l'air des tailles placées à 222 mètres de profondeur était à 19°, tandis que la température de la houille n'était que de $16\frac{1}{2}$. Ce suréchauffement, qui était de $2\frac{1}{2}$, est quelquefois du double, et même plus, dans les mines où

(1) Cette loi d'accroissement de la température du globe a été confirmée par les expériences suivies pendant le forage du puits artésien de Grenelle, jusqu'à la profondeur de 540 mètres, ainsi que par celles qui ont été faites sur les sondages entrepris dans le bassin de Saône-et-Loire, près du Creusot, jusqu'à la profondeur de 870 mètres.

il se trouve des accumulations de houille suréchauffée ou embrasée, et dans celles où il existe des pyrites en décomposition. Dans d'autres, où il se rencontre, comme au Mexique, des sources thermales, l'exploitation est poursuivie malgré une température de 36° et même de 40°.

Il y a au contraire abaissement de la température de l'air comparativement à celle de la roche dans les voies où la circulation est activée soit par un aérage forcé, soit par la circulation qui résulte de la chute des eaux d'infiltration en pluie fine, ainsi qu'il arrive dans un grand nombre de puits.

En comparant la température constante des mines à celle de l'extérieur, qui sert quelquefois de — 15° en hiver, de + 20° et +30° en été, on voit qu'il se présentera des cas où la densité de l'air intérieur et extérieur seront tellement différentes qu'il y aura un aérage spontané très-actif.

Ainsi il y a tel cas, en hiver, où les densités présenteront des différences de $\frac{1}{6}$, et dès lors, il se produira nécessairement des courants vifs tendant à rétablir l'équilibre.

En été, l'aérage sera généralement beaucoup plus difficile, et même l'équilibre ou la stagnation se produira dans un assez grand nombre de cas.

D'après ces conditions de température, il est facile de se rendre compte des diverses circonstances que présentera l'*aérage spontané*, ainsi basé sur les différences des densités.

Lorsqu'une série d'excavations ne communiquera avec l'air extérieur que par un seul puits, l'air froid de l'extérieur descendra pendant l'hiver en suivant l'axe de ce puits, tandis que l'air chaud de l'intérieur s'élèvera en suivant les parois. Dans les galeries, l'air chaud suivra le faîte de l'excaxation, et l'air froid en rasera le sol. En été, ces courants seront très-faibles et n'auront lieu que dans les moments du jour et de la nuit où il y aura à l'extérieur une température moins élevée qu'à l'intérieur; il y aura stagnation complète lorsque la différence sera nulle ou lorsque l'air intérieur sera le plus dense.

Si des travaux communiquent à l'extérieur par deux orifices (puits ou galeries) et que ces deux orifices soient absolument dans les mêmes conditions de section, de niveau et d'exposition, les phé-

nomènes seront les mêmes que précédemment; mais ils changeront aussitôt qu'une différences existera.

S'il y a seulement différence de section sans qu'il y ait différence de niveau, l'air froid descendra par l'orifice à grande section, et l'air chaud s'élèvera par celui dont la section sera plus petite. Un courant inverse pourra se produire en été, mais faiblement; l'air extérieur étant le moins dense, et ayant un accès plus libre dans la plus grande des deux excavations, pourrait être un peu plus léger dans celle-ci que dans l'autre.

Si les deux orifices, puits ou galeries, débouchent à un niveau différent, il y aura presque toujours mouvement.

En hiver, l'air extérieur étant le plus dense, entrera par l'orifice dont le niveau est le plus bas, et sur lequel il y a par conséquent une pression plus considérable; cet air sortira suréchauffé par l'orifice dont le niveau est le plus élevé. Le courant inverse aura lieu en été, lorsque ce sera l'air intérieur qui sera le plus dense, parce que la colonne la plus élevée de cet air ne pourra être équilibrée par celle de l'orifice dont le niveau est inférieur. Ce n'est que dans les moments de transition de température, vers les équinoxes, par exemple, qu'il y aura indécision des courants et même stagnation de l'aérage spontané.

Enfin, l'exposition des orifices aura encore une influence notable sur l'aérage spontané, et cette influence pourra même aller jusqu'à renverser la direction naturelle des courants. Il peut arriver, par exemple, qu'une galerie, aboutissant dans une vallée froide, communique avec un puits placé au contraire sur un plateau exposé aux rayons solaires, et que dès lors, été comme hiver, le courant d'air sorte par le puits. Le vent exerce aussi de l'influence, l'orifice d'une galerie pouvant être exposé de manière à recevoir les vents les plus fréquents suivant son axe; on augmente même dans beaucoup de cas cette influence du vent, en plaçant à l'orifice des puits d'entrée et de sortie de l'air des entrées mobiles qu'on oriente à volonté, et qu'on dispose de manière à faciliter les courants. La figure 138 représente un puits divisé en deux sections, dont l'une sert à l'entrée et l'autre à la sortie de l'air, ce mouvement étant facilité par des orifices qui s'orientent d'eux-mêmes au moyen de girouettes. Cette disposition est employée dans quelques mines en Angleterre.

Les éléments de l'aérage spontané sont donc : la différence de section des orifices, la différence de leur niveau et de leur exposition. Cet aérage étant beaucoup plus facile en hiver qu'en été, il est évident qu'on devra faire entrer cette considération dans les mesures prises pour déterminer l'aérage, de manière à favoriser les courants d'été ; on peut, par exemple, ajouter, par certaines dispositions artificielles, aux différences qui déterminent les courants. Ainsi, indépendamment de celles qui sont déjà indiquées, on a quelquefois disposé sur les puits de hautes cheminées avec des orifices mobiles destinés, par leur orientation, à faciliter les courants. (fig. 138.)

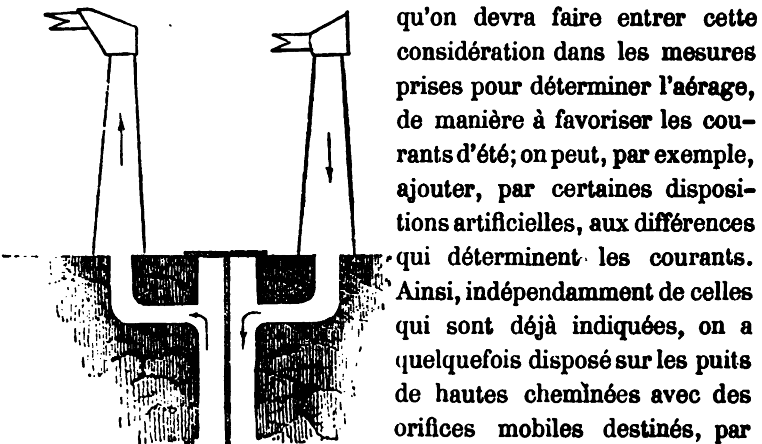


Fig. 138 — Disposition d'un puits d'aérage.

D'autrefois on a construit sur les puits d'aérage, des cheminées qui n'ont d'autre but que d'augmenter la différence de niveau des deux orifices d'entrée et de sortie de l'air.

Dans le fonçage d'un puits, on serait bientôt arrêté par le manque d'air, si l'on ne prenait des mesures pour en faire descendre au fond ; pour cela on divise la section totale en deux parties inégales au moyen d'une cloison en planches, dont les joints sont herméti-quement bouchés avec de la mousse. Le compartiment principal sert au mouvement alternatif des bennes, et le plus petit est réservé pour les échelles ; le mouvement de l'air s'établit entre ces deux compartiments comme une excavation à deux orifices ; on peut même accélérer le courant en élevant le niveau de l'orifice du plus petit compartiment au moyen d'un exhaussement en planches.

Le percement d'une longue galerie deviendrait également impossible par le manque d'air, si l'on n'avisait à y produire un courant d'aérage par des moyens analogues. Pour déterminer cet aérage, on établit sur des traverses, un plancher de roulage qui réserve la partie inférieure de la galerie à l'asséchement et au courant de l'air. Le courant entrera par cette partie inférieure et

ressortira par la section principale. Si cette précaution ne suffit pas, on peut activer l'aérage au moyen d'un petit puits disposé de manière à déterminer une différence de niveau (fig. 139).

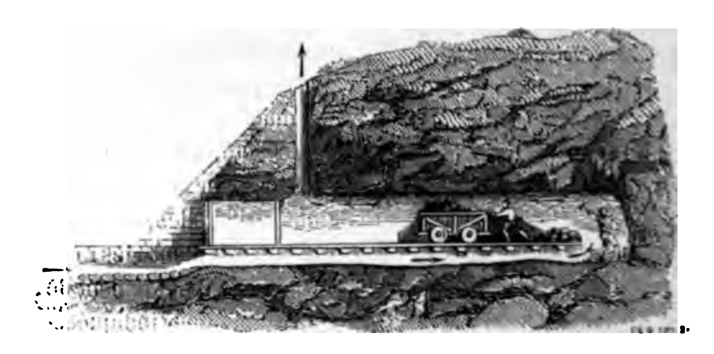


Fig. 139 — Aérage d'une galerie en percement.

A cet effet, deux portes sont placées à l'entrée de la galerie, de telle sorte que l'une des deux reste toujours fermée pendant le service, et que l'air soit obligé de sortir par le puits. Cette disposition place le travail dans le cas d'une excavation à deux orifices de niveau différent.

L'aérage spontané des mines n'est plus suffisant lorsque les travaux souterrains sont profonds, développés, sinueux, à petite section, et surtout lorsqu'il s'y produit une proportion notable de gaz délétères. Pour entretenir un air respirable et propre à l'éclairage, il devient donc indispensable de déterminer l'*aérage forcé* par des moyens artificiels.

L'aérage forcé est basé sur les mêmes principes que l'aérage spontané, c'est-à-dire que, les travaux souterrains étant mis en communication avec l'extérieur par deux orifices, il suffit de produire dans l'un d'eux une dilatation ou une condensation de l'air, ou, en d'autres termes, une diminution ou une augmentation de densité, pour déterminer un courant ascendant ou descendant, de sorte que l'air entrant par un des orifices puisse être distribué dans les travaux avant de sortir par l'autre.

La question d'aérage est donc ramenée aux procédés de dilatation et de condensation de l'air en un point donné. Les procédés de

dilatation sont le plus fréquemment appliqués, et parmi eux l'emploi du feu est surtout très-répandu.

En effet, si l'on dispose un foyer dans un des puits, ce foyer, devant puiser à l'intérieur l'air nécessaire à sa combustion, produira un appel de l'air vers le point où il sera placé; en outre, l'échauffement de l'air qui traversera ou touchera le foyer, ajoutera encore à ce mouvement d'appel en surchauffant la colonne d'air dans toute la hauteur du puits et diminuant sa densité.

Les foyers doivent être combinés de manière à venir en aide à l'aérage spontané; on peut à volonté les activer ou les ralentir, et même ne les faire fonctionner que dans les saisons défavorables.

Les frais d'installation des foyers d'aérage sont d'ailleurs peu coûteux, et leur emploi est très-fréquent dans les contrées où le combustible est à bas prix, notamment dans les mines de houille où l'on peut y consacrer des combustibles de rebut.

Lorsqu'il n'est besoin que de suppléer à un aérage spontané et qu'il n'existe pas de gaz inflammable dans la mine, le foyer est souvent allumé sur une grille en forme de corbeille suspendue par une chaîne dans le puits d'appel; c'est ce qu'on appelle un *toque-feu*. La chaîne de suspension du toque-feu est ordinairement enroulée sur le tambour d'un treuil, de telle sorte qu'on peut le placer au niveau qu'on juge le plus convenable. Cette disposition n'est pas rationnelle en ce sens que la place la plus avantageuse pour le foyer est évidemment la partie inférieure du puits d'aérage, afin que le mouvement se produise dans toute la hauteur du puits comme dans une cheminée. Il est donc plus rationnel d'établir, vers la base du puits, et dans une galerie spéciale, une grille horizontale disposée de manière à appeler l'air intérieur et à jeter dans le puits l'air chaud et les gaz de la combustion, ainsi qu'il est indiqué par la figure 140.

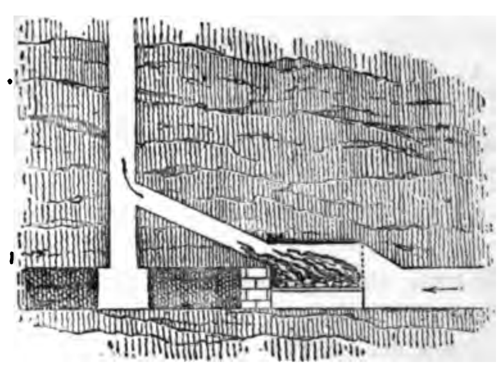


Fig. 140. — Foyer d'aérage.

Si la galerie aboutissant au puits d'appel est une voie de roulage, on place le foyer dans un conduit latéral aboutissant également au bas du puits, ainsi qu'il est indiqué figure 141.

Dans le cas où il pourrait exister dans la mine des gaz inflammables, l'arrangement des foyers doit être tel que la combustion soit toujours alimentée par l'air pur.

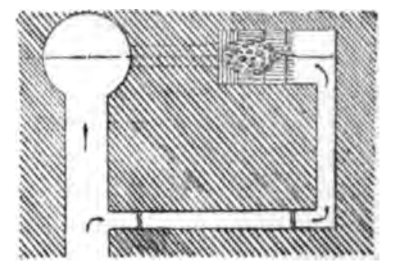


Fig. 141. — Plan d'un foyer d'aérage.

Le foyer peut être disposé comme l'indique la figure 141, l'air d'alimentation étant pris soit dans les travaux eux-mêmes, soit à l'extérieur par des voies spéciales.

Cette disposition est habituelle en Angleterre, où l'emploi des foyers d'aérage est général. Dans les houillères de la France et de la Belgique on préfère les ventilateurs mécaniques.

Nous tracerons ici la limite qui doit séparer la *géologie appliquée* de l'exploitation des mines.

Dans le principe, nous avons essayé de comprendre sous ce même titre, l'exposé des méthodes et la description générale du matériel d'exploitation. Aujourd'hui l'abondance des documents nous oblige à nous arrêter Les méthodes et le matériel sont arrivés à une complication telle, qu'on ne saurait les décrire sans l'aide de documents graphiques très-développés, qui ne pourraient trouver place dans le cadre et les moyens d'exposition adoptés pour la partie qui précède.

La *géologie appliquée* traite ainsi de tout ce qui se rapporte au *gisement* et à la *recherche* des minéraux utiles; elle nous conduit dans les gîtes eux-mêmes, nous permet d'en définir les dimensions, l'allure et les accidents, de préciser la valeur et le titre des minerais; elle nous permet même, en dernier lieu, d'indiquer les conditions de l'aérage, en analysant les gaz que l'on peut y trouver. Elle doit s'arrêter devant l'étude des méthodes et du matériel nécessaire à l'exploitation des mines.

Les procédés d'exploitation tendent à subir une complète transformation. Les appareils mécaniques y prennent une importance croissante, de telle sorte que l'étude des appareils d'aérage, des transports souterrains, de l'extraction, de l'épuisement des eaux, des manutentions extérieures, a pris le caractère de questions purement mécaniques. Il est donc rationnel de se borner ici à indiquer les procédés et les travaux de recherche, qui se lient d'une manière si intime avec les études géologiques.

Cette division a déjà présenté un avantage en nous permettant de donner plus de détails sur les gîtes métallifères des diverses contrées et sur les observations géologiques qui, des mines de l'Europe, se sont étendues successivement à celles de toutes les parties du globe.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

CHAPITRE PREMIER

CHAPITRE II

CHAPITRE III

CHAPITRE IV

CHAPITRE V

CHAPITRE VI

CHAPITRE VII

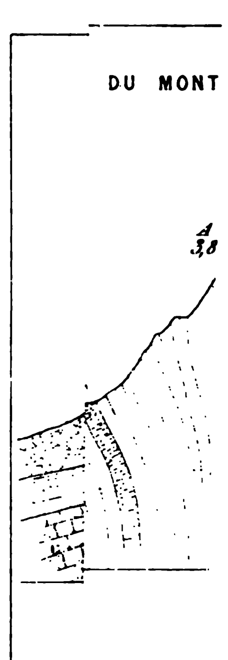
CHAPITRE VIII

CHAPITRE IX

FIN DU TOME SECOND

Paris, imprimerie Paul Dupont, rue Jean-Jacques-Rousseau, 41. — 4730.7.70.

DU MONT



FILS DU FLA



Gravé p



